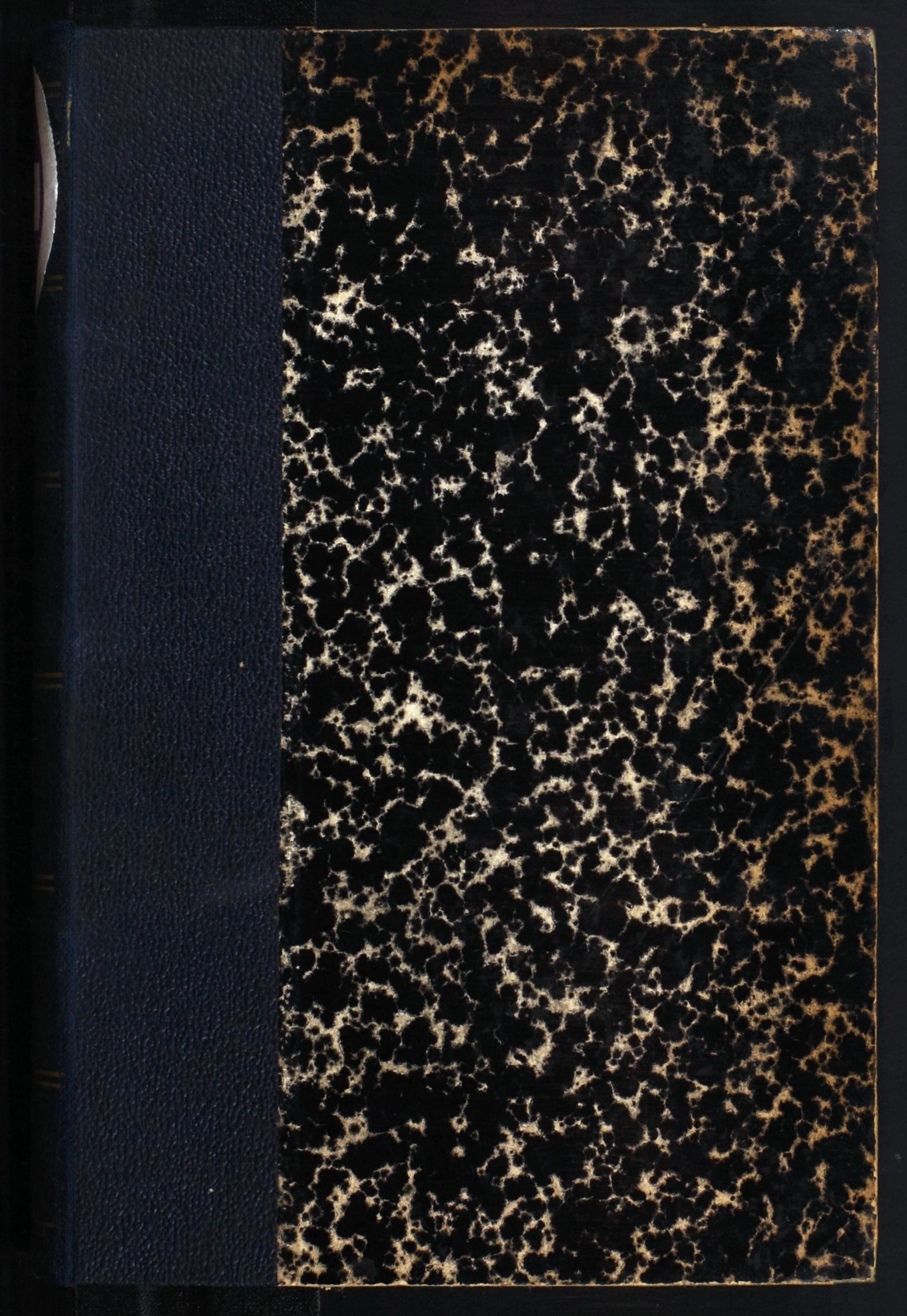


J. LEFÈVRE

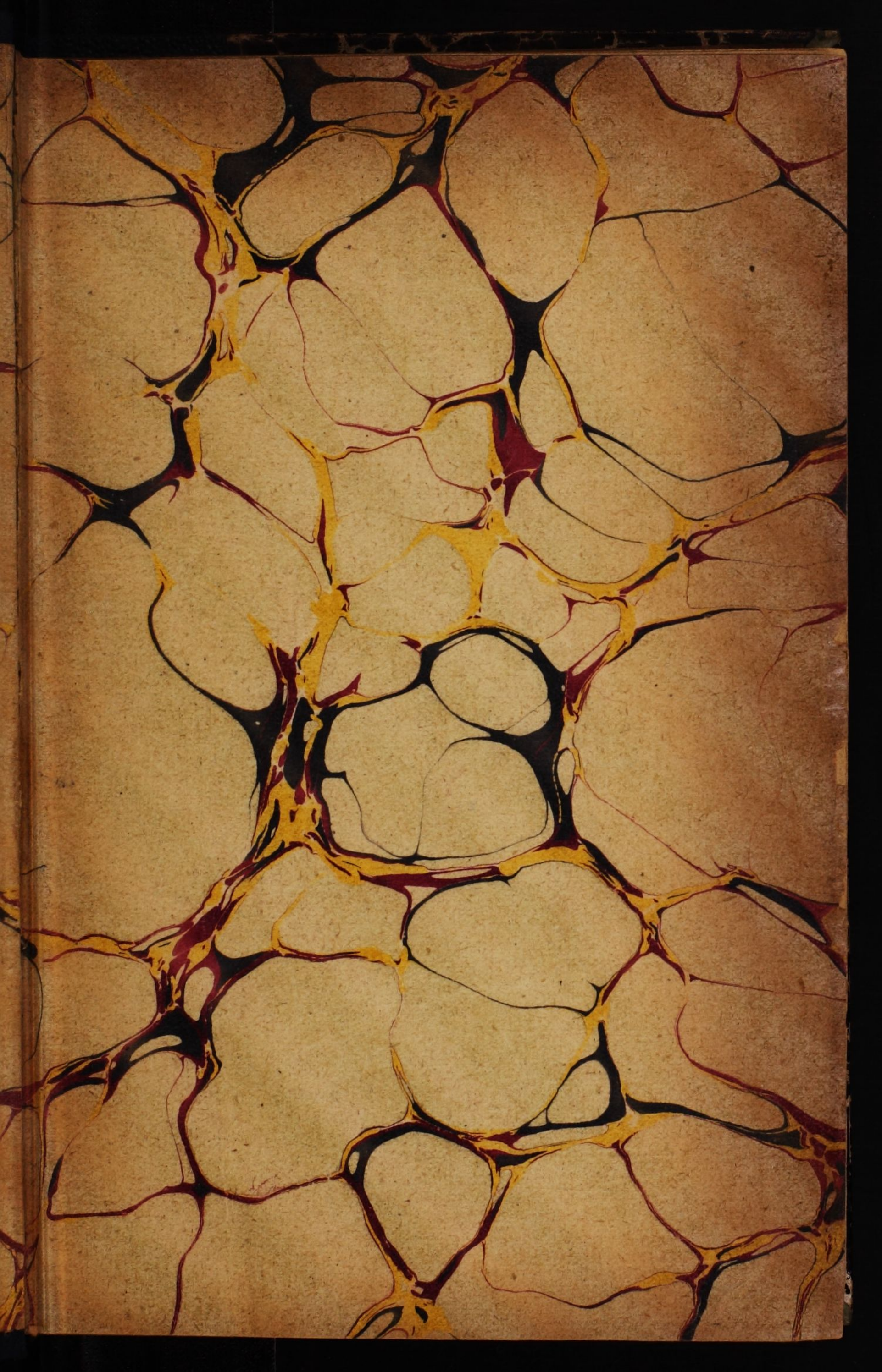
LES MOTEURS



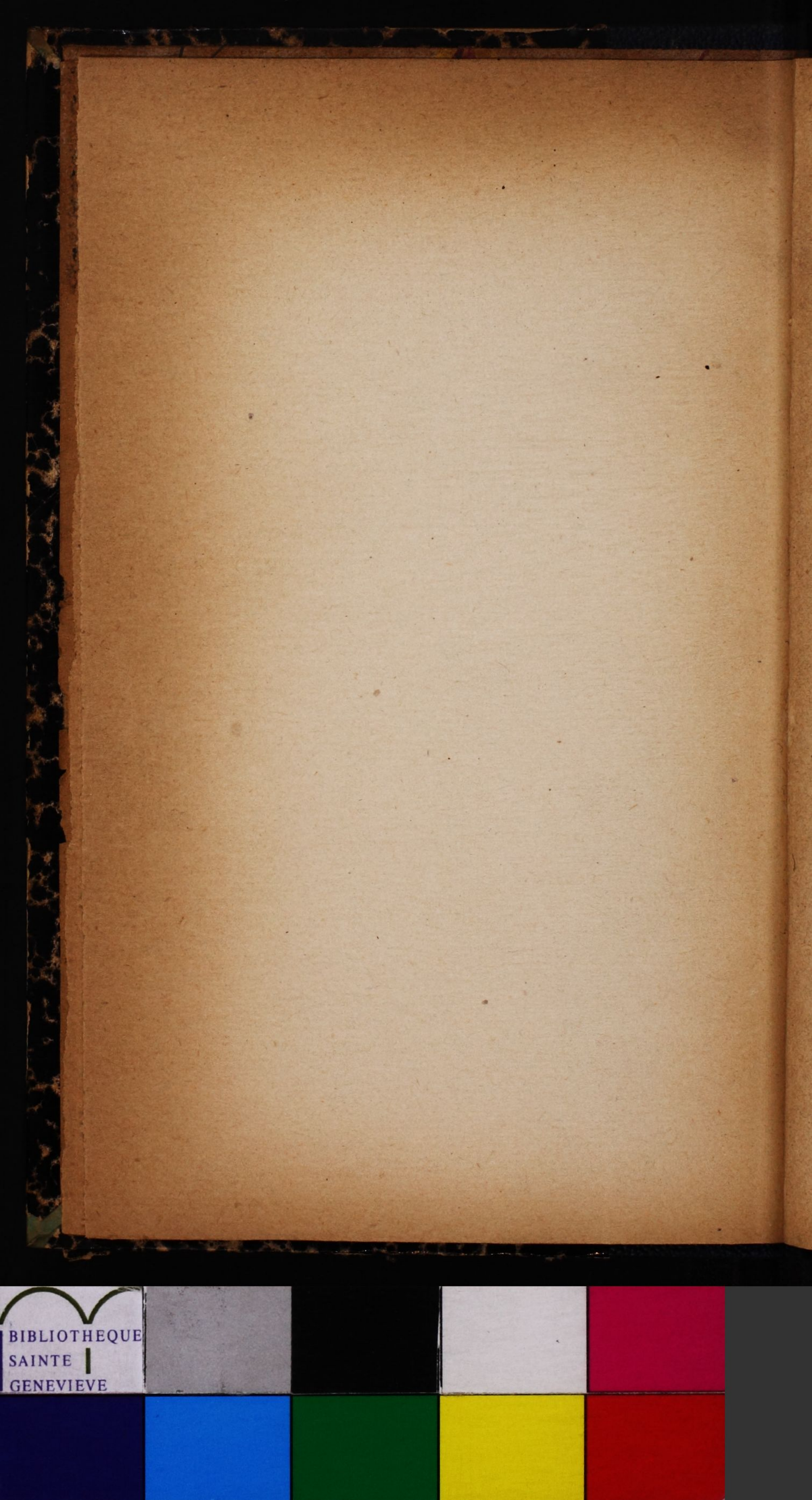









BIBLIOTHEQUE SAINTE - GENEVIEVE
D 910 593882 7


BIBLIOTHEQUE
SAINTE
GENEVIEVE

BIBLIOTHÈQUE DES CONNAISSANCES UTILES

LES MOTEURS

MOTEURS HYDRAULIQUES. — MOULINS A VENT.
MOTEURS A GAZ TONNANTS.

OUVRAGES DU MÊME AUTEUR :

DICTIONNAIRE D'ÉLECTRICITÉ ET DE MAGNÉTISME

COMPRENANT LES APPLICATIONS AUX SCIENCES, AUX ARTS ET A L'INDUSTRIE

INTRODUCTION PAR M. BOUTY

Professeur à la Faculté des sciences de Paris

1895, 1 vol. gr. in-8 de 1,150 pages, avec 1,250 figures. . . . 30 fr.

LES NOUVEAUTÉS ÉLECTRIQUES

1896, 1 vol. in-18 jésus de 400 pages, avec 100 figures, cart.. . 4 fr.

(*Bibliothèque des connaissances utiles*)

L'ÉLECTRICITÉ A LA MAISON

1889, 1 vol. in-16 de 396 pages, avec 200 figures.. . . . . . 4 fr.

(*Bibliothèque des connaissances utiles*)

LE CHAUFFAGE ET LES APPLICATIONS DE LA CHALEUR

DANS L'INDUSTRIE ET L'ÉCONOMIE DOMESTIQUE

1893, 1 vol. in-18 jésus de 355 pages, avec 188 figures, cart. . 4 fr.

(*Bibliothèque des connaissances utiles*)

LA PHOTOGRAPHIE

ET SES APPLICATIONS AUX SCIENCES, AUX ARTS ET A L'INDUSTRIE

1888, 1 vol. in-18 jésus de 384 pages, avec 95 figures et 3 pl. 3 fr. 50

(*Bibliothèque scientifique contemporaine*)

SAVONS ET BOUGIES

1894, 1 vol. in-18 jésus de 424 pages, avec 116 figures, cart.. . 5 fr.

(*Encyclopédie de chimie industrielle*)

LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS, PARIS.

A. WITZ

Docteur ès sciences, ingénieur des arts et manufactures

LA MACHINE A VAPEUR

MACHINES TYPES, MACHINES A GRANDE VITESSE, MACHINES LOCOMOBILES, MACHINES ROTATIVES ET TURBO-MOTEURS, MACHINES COMPACTES

1891, 1 vol. in-18 de 324 pages, avec 80 figures, cart . . . . 4 fr.

A. SCHŒLLER

Inspecteur de l'exploitation du Chemin de fer du Nord

LES CHEMINS DE FER ET LES TRAMWAYS

CONSTRUCTION, EXPLOITATION, TRACTION

1892, 1 vol. in-16 de 368 pages, avec 90 figures. . . . . . 3 fr. 50

DE MONT-SERRAT et BRISAC

Ingénieurs de la Compagnie parisienne du gaz

LE GAZ ET SES APPLICATIONS

ÉCLAIRAGE, CHAUFFAGE, FORCE MOTRICE

1892, 1 vol. in-18 de 368 pages, avec 86 figures, cart. . . . . 4 fr.

(*Bibliothèque des connaissances utiles*)

A. VAUTIER

LES MACHINES A BOIS AMÉRICAINES

1896, 1 vol. gr. in-8 de 144 pages, avec 107 figures. . . . . 3 fr. 50

GUSTAVE RICHARD

LA MÉCANIQUE GÉNÉRALE AMÉRICAINE

CHAUDIÈRES, MACHINES A VAPEUR, MOULINS A VENT, TURBINES ET ROUES HYDRAULIQUES, POMPES A VAPEUR, APPAREILS DE LEVAGE, MÉCANISMES, ETC.

1896, 1 vol. gr. in-8 de 630 pages, avec 1441 figures. . . . . 8 fr.

ARISTIDE POUTIERS

Professeur à l'Ecole régionale des Beaux-Arts d'Angers

LA MENUISERIE

CHOIX ET TRAVAUX PRÉPARATOIRES DES BOIS, L'ART D'ASSEMBLER LES BOIS, LA MENUISERIE EN BATIMENT : CHASSIS, CROISÉES, PORTES, LAMBRIS, PLAFONDS, PARQUETS ET PLANCHERS, LA STÉRÉOTOMIE, ESCALIERS

1 vol. in-18, avec 132 figures dessinées par l'auteur, cart. . . 4 fr.

CHARTRES. — IMP. DURAND.

Julien LEFÈVRE

DOCTEUR ÈS SCIENCES
PROFESSEUR SUPPLÉANT A L'ÉCOLE DE MÉDECINE DE NANTES
PROFESSEUR A L'ÉCOLE DES SCIENCES

LES MOTEURS

Avec 141 figures intercalées dans le texte

MOTEURS HYDRAULIQUES
Puissance — Roues en dessus, de côté, en dessous
Turbines centrifuges, centripètes, parallèles, mixtes, américaines

MOULINS A VENT
Moulins à axe horizontal, à axe vertical, américains

MOTEURS A GAZ TONNANTS
Comparaison des machines thermiques — Gazogènes
Carburation de l'air — Moteurs à gaz
Moteurs à essence de pétrole, à huile de pétrole
Applications : appareils de levage, distribution d'énergie, éclairage électrique, voitures, cycles, bateaux

PARIS
LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS
Rue Hautefeuille, 19, près du boulevard Saint-Germain

1896

PRÉFACE

Ce volume est consacré aux moteurs employés dans l'Industrie ; nous avons exclu la machine à vapeur, qui a été traitée avec la plus grande compétence dans un autre volume de cette collection, dû à la plume si autorisée de M. A. Witz. Il nous restait donc les moteurs à air, à eau, à gaz et à pétrole.

La PREMIÈRE PARTIE comprend les *moteurs hydrauliques*, roues et turbines; la SECONDE est consacrée aux *moulins à vent;* nous lui avons donné un certain développement, car il nous paraît utile de vulgariser les systèmes de moulins américains, qui sont encore trop peu répandus en France, et qui pourraient cependant rendre de grands services, en permettant d'utiliser une force naturelle qui se trouve partout, et qu'on n'est pas obligé d'aller chercher au loin et de transporter à grands frais, comme c'est le plus souvent nécessaire pour celle des chutes d'eau. Il est vrai que cette force est intermittente ; mais, même en tenant compte de cet inconvénient, elle peut suffire encore à beaucoup d'applications : distribution d'eau, éclairage électrique, etc.

Enfin nous avons réservé la plus grande place aux *moteurs à gaz tonnants,* qui sont employés de plus

en plus dans l'industrie et qui sont certainement appelés à un avenir brillant. Ces moteurs ont reçu depuis quelques années des perfectionnements sérieux, et leur emploi, limité d'abord aux puissances inférieures à 4 chevaux, s'étend maintenant à 100 chevaux et au délà ; grâce à leurs qualités spéciales, le cercle de leurs applications s'agrandit chaque jour davantage. Il nous a donc paru utile de donner une grande place à l'étude de ces machines.

M. Paul Darblay a bien voulu nous fournir pour les turbines des documents et des dessins qui ont pris place utilement dans notre livre.

Parmi les ouvrages dans lesquels nous avons puisé de précieux renseignements, nous devons signaler en première ligne le *Traité d'hydraulique appliquée,* de M. Vigreux, la *Mécanique générale américaine,* par M. Gustave Richard, le *Traité des moteurs à gaz*, de M. G. Chauveau, et celui des *Moteurs à gaz et à pétrole,* de M. A. Witz. Nous citerons encore le journal le *Génie civil,* auquel nous avons emprunté plusieurs figures.

Julien LEFÈVRE.

Janvier 1896.

LES MOTEURS

PREMIÈRE PARTIE

LES MOTEURS HYDRAULIQUES

CHAPITRE PREMIER

PUISSANCE DES RÉCEPTEURS HYDRAULIQUES

Puissance des cours d'eau. — Chute brute et chute réelle. — Variations de la chute. — Marche par éclusées. — Classification des récepteurs hydrauliques.

Puissance des cours d'eau. — Les récepteurs ou moteurs hydrauliques, roues et turbines, utilisent la puissance mécanique des cours d'eau.

Le plus souvent, on se sert pour cela d'une chute, naturelle ou artificielle. Dans ce cas, l'énergie que peut fournir le cours d'eau en un certain temps a pour mesure le produit de la chute H par le poids d'eau P écoulé dans ce temps. Lorsque la première quantité est exprimée en mètres et la seconde en kilogrammes, l'énergie s'obtient en kilogrammètres. Mais on estime généralement le poids P en mesurant en mètres cubes le volume Q débité pendant le temps considéré. Si, enfin, on réduit le temps à une seconde, le nombre T de kilogrammètres obtenu représente la puissance de la chute.

$$T = 1000\,QH.$$

Pour transformer cette expression en chevaux-vapeur, il suffit de diviser le second membre par 75.

Il faut ajouter qu'aucun récepteur ne transmet intégralement toute l'énergie qu'il reçoit du cours d'eau ; il y a toujours, comme dans toutes nos machines, une certaine perte, qui est due principalement aux actions mutuelles du liquide à son entrée dans le récepteur et pendant son séjour, aux frottements, à la vitesse avec laquelle l'eau s'échappe ; on ne peut donc employer qu'une quantité d'énergie

$$T' = RT,$$

qui constitue la puissance utile de l'appareil ; le coefficient R, toujours plus petit que l'unité, est le *rendement* du moteur ; il s'élève à 70 ou 80 0/0 dans les récepteurs soigneusement établis et installés dans de bonnes conditions. La puissance utile du moteur sera donc, en chevaux,

$$W = \frac{T'}{75} = \frac{RT}{75} = \frac{1000\,RQH}{75}$$

Pour déterminer la puissance W, qu'on peut obtenir en installant un moteur hydraulique sur un cours d'eau, il faut donc mesurer la hauteur de chute et le débit Q par seconde ; il faut aussi tenir compte de la valeur probable du rendement R pour l'appareil choisi.

Chute brute et chute réelle. — La chute utilisée peut être naturelle ou produite par un barrage. Le moteur peut être placé sur le barrage même ; mais, le plus souvent, il est installé sur une dérivation creusée entre deux points A et B, pris, l'un immédiatement au-dessus du barrage, l'autre à une petite distance au-dessous. On crée ainsi une *chute brute* ou totale, égale à la distance verticale des deux points A B,

distance qui est un peu plus grande que la chute due au barrage seul. On dispose toujours, à l'origine du canal d'amenée, qui va du point A au moteur, des vannes de *prise d'eau* ou de *garde*, qu'on protège par des pieux ou autrement.

On conçoit qu'une usine hydraulique ne peut être établie sans une autorisation administrative, qui déterminera les dispositions et les dimensions des ouvrages à établir sur le cours d'eau, par exemple la cote de la crête ou sommet du barrage, ainsi que celles des ouvrages régulateurs, largeur et cote de la crête du déversoir de superficie et des vannes de décharge.

Le déversoir de superficie reçoit généralement une largeur égale à celle du cours d'eau ; d'ailleurs il est souvent formé par le barrage lui-même. Sa crête doit être *arasée* au niveau indiqué par l'autorisation ; l'usinier est obligé de maintenir le niveau d'amont à cette hauteur pendant l'étiage et l'époque des eaux moyennes, en faisant écouler le surplus par les vannes de décharge. Ces vannes sont disposées sur le barrage même, à l'une de ses extrémités ; quand elles sont fermées, leur crête doit s'élever au même niveau que celle du barrage. Elles doivent avoir des dimensions suffisantes pour qu'on puisse, en les levant complètement, faire écouler les hautes eaux ordinaires, sans que le niveau d'amont dépasse la crête du barrage.

Lorsque l'usine est éloignée du barrage, ou qu'il y a plusieurs usines sur le même canal, l'Administration impose parfois la construction d'un déversoir supplémentaire et d'une vanne de décharge, placés près du moteur et destinés à faire passer, en cas d'arrêt de celui-ci, l'eau d'amont dans le canal de fuite.

La chute *réelle* ou disponible s'obtient, dans le cas précédent, en retranchant, de la distance verticale des deux points A et B, la pente nécessaire pour l'écoulement de l'eau, d'une part entre A et le moteur, de l'autre entre le moteur et l'extrémité du canal de fuite.

Lorsque l'établissement de l'usine n'est pas soumis à l'autorisation administrative, on doit régler la chute de façon à ne gêner ni les riverains, ni les usines existant déjà en amont ou en aval. La crête du barrage doit être à une hauteur telle que la retenue produite pendant les eaux moyennes n'élève pas le niveau d'aval pour l'usine située en amont. Le niveau d'aval se détermine en partant du niveau d'amont de l'usine située immédiatement en aval et tenant compte de la pente nécessaire entre les deux usines. La différence entre la crête du barrage et le niveau d'aval ainsi mesuré donne la chute disponible. Quand il s'agit d'une usine autorisée, on n'a à se préoccuper que du niveau d'aval, la cote du barrage étant fournie par l'Administration.

Si l'usine est placée sur le cours d'eau lui-même, il faut avoir soin que le barrage ne soit pas assez élevé pour empêcher l'égouttement des prairies riveraines. Il faut pour cela que le niveau déterminé par ce barrage soit de 16 à 20 centimètres en contre-bas des prairies les plus basses. Lorsqu'une usine est située sur un canal artificiel, établi entre deux points du cours d'eau, il n'y a pas à s'occuper de cette condition : les prairies s'égouttent dans le cours d'eau, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un fossé.

Variations de la chute ; marche par éclusées. — La hauteur de la chute peut varier avec les saisons :

grâce aux ouvrages régulateurs (déversoir et vannes de décharge), le niveau d'amont est sensiblement constant, sauf pendant la période des très hautes eaux, où les vannes de décharge peuvent devenir insuffisantes. Le niveau d'aval, au contraire, varie avec le débit du cours d'eau, car la pente dans le canal de fuite doit augmenter avec ce débit. Ces variations ne peuvent être bien connues que par une longue série d'observations.

Sur les faibles cours d'eau, on établit souvent, en amont des usines, des étangs où on laisse l'eau s'accumuler pendant un certain temps, le moteur étant alors arrêté. On obtient ainsi un débit supérieur à celui du cours d'eau naturel, mais avec un travail intermittent. Dans ce cas, c'est le niveau d'amont qui devient variable, celui d'aval pouvant être fixe, et la chute réelle peut varier beaucoup. Ce système constitue la *marche par éclusées* ou le régime dit *des étangs ;* il ne s'applique qu'aux petits cours d'eau ; pour les autres, l'écoulement est continu.

On peut aussi diviser les cours d'eau en cours d'eau tranquilles et cours d'eau torrentiels.

Classification des récepteurs hydrauliques. — Les récepteurs hydrauliques dont nous nous occuperons ici peuvent se diviser en deux classes, d'après leurs dispositions générales et leur mode de construction :

1° Les roues ordinaires, à augets, à palettes planes ou courbes et à axe horizontal ;

2° Les turbines, soit à axe vertical, soit à axe horizontal.

Au point de vue du mode d'utilisation de la puissance hydraulique, on peut distinguer :

1° Les récepteurs qui utilisent à la fois la force vive et le poids de l'eau, comme la roue à augets et la roue de côté à palettes planes ;

2° Les appareils qui utilisent seulement la force vive, comme la roue en-dessous, la roue pendante et les turbines.

CHAPITRE II

LES ROUES EN DESSUS OU A AUGETS

Classification des roues hydrauliques. — Avantages et inconvénients de ces roues. — Roue à augets, en dessus, sans tête d'eau : description, fonctionnement, dimensions, usage, rendement ; cas où le niveau d'aval est variable. — Roue à augets, en dessus, à tête d'eau : description, fonctionnement, usage, rendement. — Roue à augets, en dessus, à buse. — Roue de poitrine : description, fonctionnement, usage, rendement. — Roue Millot.

Classification des roues hydrauliques. — Il est assez difficile d'établir une classification rationnelle de ces récepteurs. Nous les diviserons en *roues en dessus,* roues *de côté* et roues *en-dessous,* suivant la hauteur à laquelle elles reçoivent l'eau.

La roue de poitrine et la roue Millot rentrent dans la première catégorie.

Avantages et inconvénients des roues hydrauliques. — Ces récepteurs s'emploient seulement pour des chutes inférieures à 12 mètres ; ils sont donc, à ce point de vue, inférieurs aux turbines. En outre, leur débit est limité. Mais, dans les limites de leur emploi, ils l'emportent sur les turbines par la simplicité de leur construction et de leur installation.

Roues à augets, en dessus, sans tête d'eau.

Description. — Cette roue (fig. 1) se compose de deux *joues* ou *couronnes* circulaires E et d'une *fonçaille* ou *fonçure* étanche F. Les deux couronnes comprennent des capacités égales, appelées *augets,* qui

sont limitées par des cloisons ou *aubes,* formées de deux parties *a* et *b ;* la partie *a* est dirigée suivant le rayon, et la partie *b* est inclinée sur la première. La couronne est boulonnée sur des bras assemblés eux-mêmes sur un tourteau en fonte calé sur l'arbre, qui

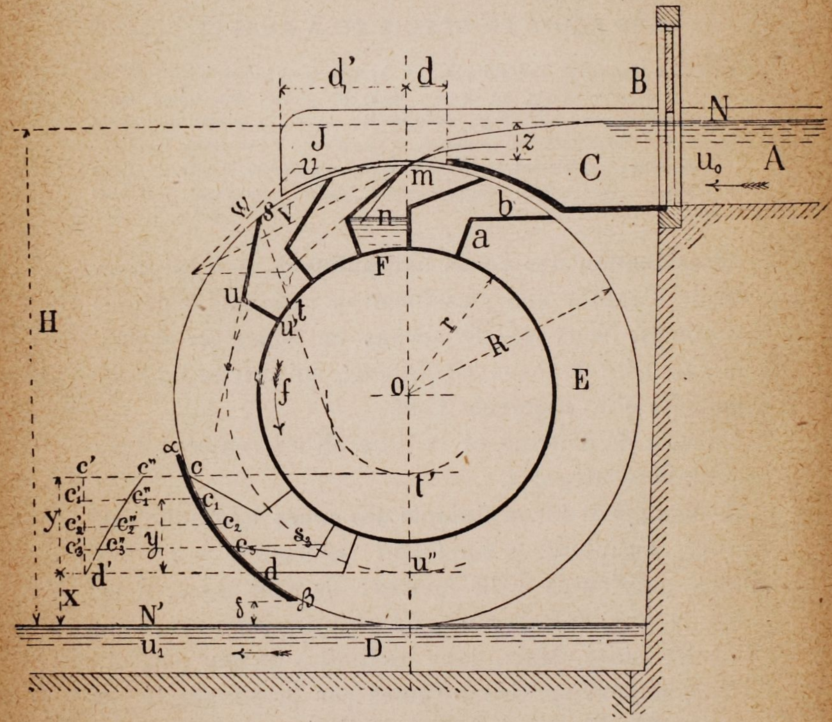


Fig. 1. — Roue à augets, en dessus, sans tête d'eau.

est en bois, ou mieux en fer. Le bief d'amont A se prolonge par une *huche* C, que termine un *bec* à peu près concentrique à la roue, s'arrêtant un peu en avant de la verticale du centre O et placé à une certaine distance *z* au-dessous du niveau d'amont N. La huche est

munie de joues J, qui se prolongent en avant d'au moins un mètre pour diriger la nappe d'eau et empêcher les projections. La vanne B, qui ferme le canal d'amenée, sert seulement pour la mise en train et l'arrêt, mais ne règle pas la dépense ; pendant la marche, elle est toujours soulevée au-dessus du niveau N, de sorte que le débit dépend uniquement de la distance z.

Fonctionnement. — Pour que l'eau pénètre sans choc dans la roue, il faut qu'elle prenne à son entrée une vitesse relative w dirigée suivant la cloison b. Cette vitesse relative s'obtient en composant la vitesse absolue V du liquide avec une vitesse égale et de sens contraire à la vitesse linéaire v de la roue.

Le liquide emmagasiné dans les augets agit d'abord par la force vive qu'il a acquise en tombant du niveau N jusqu'au sommet de la roue, puis par son poids, lorsqu'il arrive à se trouver en repos relatif dans ces augets. Lorsque les augets, en tournant, arrivent successivement à la partie inférieure de l'appareil, ils laissent échapper l'eau qu'ils renferment à partir du plan cc'; ils sont complètement vides en dd', par conséquent avant d'arriver au point le plus bas.

Dans chacun des augets, l'eau est terminée par une portion de cylindre à base circulaire, dont le centre se trouve au-dessus du point O, sur la même verticale.

Dimensions. — Pour déterminer les dimensions de ce récepteur, il faut fixer d'abord la valeur de z. Si cette valeur est très grande, on peut employer une roue de faible largeur, mais, à cause de la grande épaisseur de la lame d'eau, l'entrée du liquide se fait

dans de mauvaises conditions. Si, au contraire, on fait z très petit, il est nécessaire de prendre une roue très large et par conséquent très lourde et très coûteuse. Il convient donc d'adopter pour z une valeur moyenne, soit 0,10 à 0,20 m.

On calcule ensuite le diamètre de la roue. Comme il faut tenir compte de l'épaisseur du bec de la huche et laisser un petit intervalle entre ce bec et la roue, on obtient généralement ce diamètre en retranchant de la hauteur de chute H la valeur de z, augmentée de 0,03 m.

La vitesse v de la roue est généralement comprise entre 1 mètre et 1,30 m. ; elle ne doit pas descendre au-dessous de la première valeur, parce que l'influence du *balourd*, résultant de ce que le centre de gravité ne se trouve jamais exactement sur l'axe de rotation, produirait alors des variations périodiques de vitesse trop considérables.

La largeur de la roue doit dépasser au moins de 0,10 m. celle de la huche, afin d'éviter qu'une partie du liquide ne tombe de chaque côté.

En général on donne à la distance extérieure des aubes, ou *pas* de l'aubage, une valeur égale à l'épaisseur R-r de la couronne ; le nombre des augets est alors

$$n = \frac{2\pi R}{R - r}.$$

Il faut en outre que n soit un nombre entier et un multiple du nombre des bras de la roue.

Usage. — La roue en-dessus sans tête d'eau sert pour les chutes de 3 à 12 mètres ; au delà de cette limite, il vaut mieux recourir aux turbines. Cette roue

ne convient qu'aux débits inférieurs à 600 litres, et pour un niveau d'amont à peu près constant; elle ne peut donc pas être employée sur les rivières où la marche par éclusées est autorisée.

En outre, elle présente, pour une chute donnée, le maximum de diamètre et de largeur et le minimum de vitesse. A cause de cette faible vitesse, elle ne peut jouer le rôle de volant et ne convient qu'aux usines où la résistance est à peu près constante. Pour la même raison, elle rend la transmission de mouvement compliquée et coûteuse.

Rendement. — Le travail utile s'obtient en retranchant du produit PH les différentes pertes de travail inhérentes au système considéré. La perte due au frottement de l'eau contre les parois de la huche peut être rendue négligeable en réduisant autant que possible la longueur du bec et en rendant les parois bien lisses. D'autres pertes sont dues : à la vitesse relative w, au remplissage incomplet des augets, au déversement anticipé du liquide, à la vitesse que possède le liquide en s'échappant. La perte due au déversement anticipé peut être diminuée en adaptant à la roue un coursier ou col de cygne $\alpha\beta$, qui s'oppose au vidage ; mais il faut tenir compte du frottement de l'eau sur le coursier.

La perte due à la vitesse relative w est

$$\frac{Pw^2}{2g}$$

et celle qui provient de la vitesse v avec laquelle l'eau s'échappe de la roue est

$$\frac{Pv^2}{2g}$$

On peut donc prendre comme expression approchée du travail utile

$$T' = PH - \frac{Pw^2}{2g} - \frac{Pv^2}{2g}$$

Mais, en appelant α l'angle des deux vitesses Vv, on a

$$w^2 = V^2 + v^2 - 2\ Vv \cos \alpha$$

Donc

$$T' = PH - P\frac{V^2}{2g} + P\frac{v}{g}(V \cos \alpha - v)$$

On voit que T' augmente lorsqu'on diminue V ou qu'on rend maxima l'expression $V\cos\alpha - v$, ce qui a lieu pour

$$v = \frac{V \cos \alpha}{2}$$

ou approximativement,

$$v = \frac{V}{2}$$

Ces considérations s'appliquent à toutes les roues. Le rendement peut atteindre et même parfois dépasser 80 0/0.

Cas où le niveau d'aval est variable. — Si le niveau d'aval est variable, on est obligé d'établir le bas de la roue à la hauteur du niveau le plus élevé, parce que cette partie de l'appareil, tournant en sens contraire de l'écoulement de l'eau dans le canal de fuite, ne peut être plongée dans le liquide, car elle relèverait l'eau à l'arrière, ce qui produirait une perte de travail et pourrait disloquer la roue. On peut éviter cet inconvénient en changeant la direction du canal d'amenée ou du canal de fuite par rapport à celle de la rivière, ce qui permet de faire plonger la roue de 0,10 m. à

0,12 m. Mais cette disposition ne peut être employée que pour des roues de faible largeur; sinon elle devient très coûteuse.

Roue à augets, en dessus, à tête d'eau.

Description. — Cette roue (fig. 2) présente encore

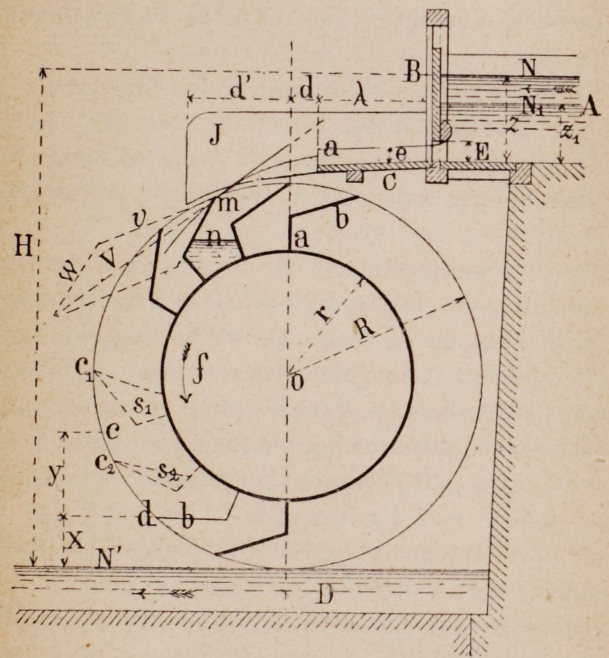


Fig. 2. — Roue à augets en dessus, à tête d'eau.

une couronne, limitée par deux joues circulaires et divisée en un certain nombre d'augets. Les aubes se font en bois, ou mieux en tôle; leurs arêtes sont parallèles à l'axe de rotation.

Le canal d'amenée A est muni d'une vanne verticale B, qui règle le débit de l'eau; il se prolonge par

un coursier C légèrement incliné, qui verse le liquide au sommet de la roue, et qui porte des joues J se prolongeant au moins d'un mètre, pour empêcher les projections. La vanne porte à l'arrière un talon destiné à réduire la contraction de la lame d'eau qui passe par-dessous. La distance entre le niveau N de l'eau dans le bief d'amont et le seuil de la vanne constitue la *tête d'eau z*.

Fonctionnement. — L'eau qui arrive dans les augets agit sur la roue, d'abord par la force vive qu'elle acquiert en tombant du niveau N jusqu'au sommet de la roue, puis par son poids lorsqu'elle se trouve dans les augets.

Les surfaces terminales du liquide dans ces récipients sont encore des cylindres à base circulaire, dont le centre commun se trouve sur la verticale du point O et au-dessus de lui ; elles peuvent être considérées comme planes dans les grandes roues. La roue tourne sous l'influence des deux causes que nous venons d'énumérer et, dans cette rotation, l'eau commence à se déverser dans le bief d'aval à partir d'un point plus ou moins élevé, suivant la vitesse de l'appareil, la forme des augets et leur degré d'emplissage.

Le nombre des augets se détermine comme dans la roue précédente.

Usage. — Ce modèle de roue s'emploie pour des chutes de 4 à 12 mètres et des débits de 500 à 1500 litres au plus ; il exige que le niveau d'aval soit peu variable.

Lorsque le niveau d'amont ou le débit du cours peuvent varier, cette roue doit être préférée à la précédente, et, même dans les cas où ces éléments sont à

peu près constants, elle a l'avantage d'être plus économique de construction et d'installation, et elle permet, à cause de sa plus grande vitesse, de simplifier la transmission du mouvement aux outils. Elle l'emporte encore lorsqu'il s'agit d'une usine à résistance variable. Aussi forme-t-elle le type le plus employé, dans les limites de chute indiquées plus haut, bien que son rendement soit peu élevé.

Rendement. — Les pertes d'énergie sont dues au frottement de l'eau dans le coursier, à la vitesse relative avec laquelle le liquide entre dans la roue et à la vitesse qu'il possède en s'échappant; il faut tenir compte aussi de ce que les augets ne s'emplissent pas complètement et se vident avant d'arriver au bas de l'appareil, ainsi que du frottement des tourillons. Le rendement exact peut être mesuré par un jaugeage des eaux et un essai au frein; il s'élève de 40 à 60 0/0 pour les petites roues marchant à bonne vitesse. Pour les grandes roues, il est de 60 à 80 0/0, suivant la vitesse et le degré d'emplissage.

Roue à augets, en dessus, à buse.

Les deux récepteurs précédents exigent un niveau d'aval très sensiblement constant, car la partie inférieure de la roue, tournant en sens contraire du courant, ne doit jamais plonger dans le liquide, ce qui empêcherait les augets de se vider; la roue relèverait donc l'eau à l'arrière, ce qui entraînerait une perte d'énergie importante, et l'immersion de la partie inférieure produirait en outre une certaine résistance. On serait donc obligé, en cas de niveau variable, d'établir la roue de manière que sa partie inférieure vienne

affleurer l'eau du canal de fuite lorsqu'elle s'élève au point le plus haut et l'on perdrait la hauteur de chute comprise entre les deux positions extrêmes du niveau d'aval.

Pour éviter cet inconvénient, on a cherché à faire tourner le bas de la roue dans le sens du courant de fuite. Ce résultat peut s'obtenir, comme nous l'avons dit plus haut, en changeant la direction du canal de fuite ou celle du canal d'amenée ; cette disposition, souvent adoptée pour les roues de petite largeur, per-

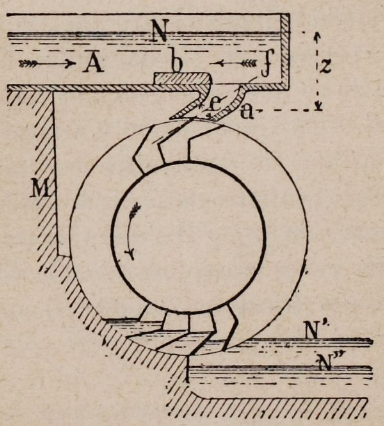


Fig. 3. — Roue en dessus, à buse.

met de faire plonger la partie inférieure de 0,10 à 0,12 m. La roue à buse (fig. 3) donne une solution plus satisfaisante. On prolonge le bief d'amont A jusqu'au-dessus de la roue, et l'on pratique une ouverture *a*, munie d'une buse, analogue à un orifice distributeur des turbines; cette ouverture porte une vanne horizontale *b*, qui la démasque en marchant dans le sens de la flèche *f*, de sorte que, si une diminution de débit

du cours d'eau oblige à laisser la vanne en partie fermée, la lame d'eau à laquelle elle livre passage se moule toujours sur la paroi concave de la buse.

Le mur d'amont M peut être muni d'un coursier retenant l'eau dans les augets jusqu'au bas de la roue. La tête d'eau z se compte depuis le niveau N jusqu'au centre de gravité de la section droite de l'ouverture inférieure de la buse.

Le niveau d'aval peut varier de N″ à N′, de façon à immerger la roue de 0,10 à 0,12 m.

Cette disposition convient à des débits grands et variables. Cependant, lorsque le débit devient considérable, on a avantage, au lieu d'augmenter la largeur de la roue, à établir sur le conduit d'amenée plusieurs buses qui desservent un nombre égal de roues ayant leurs arbres parallèles.

Roue de poitrine.

Description. — Cette roue à augets (fig. 4) tire son nom de ce qu'elle reçoit l'eau en m, entre le sommet et le plan horizontal passant par son centre. Le canal d'amont est prolongé par une huche A, que termine une partie oblique C, percée d'un certain nombre d'ajutages JJ′, commandés par une même vanne B ; ce mode de vannage est dit à persiennes.

Les augets peuvent avoir la même forme que dans les appareils précédents ; ils se composent alors de deux parties, l'une a, dirigée suivant le rayon, l'autre b, inclinée sur la première ; mais, comme ils ne reçoivent pas l'eau à partir du sommet, ils présentent, dans la *fonçaille* ou *fonçure* F, un orifice ou *évent*, destiné à la sortie et à la rentrée de l'air. Souvent, ils pré-

sentent une forme polygonale, telle que *bac* (partie supérieure de la fig. 4), le troisième côté *c* remplaçant la fonçaille ; cette forme permet de faire pénétrer les augets les uns dans les autres et de remonter les évents, de sorte qu'on peut remplir les augets au moins à moitié.

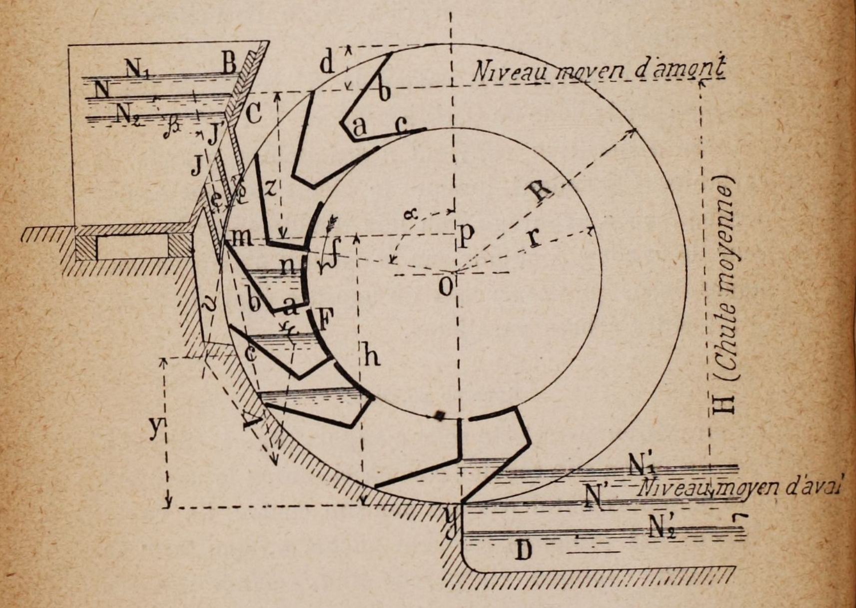


Fig. 4. — Roue de poitrine.

Fonctionnement. — La surface libre de l'eau dans les augets a la forme cylindrique, comme dans les appareils précédents ; le nombre des augets se détermine comme précédemment.

La partie inférieure de la roue, tournant dans le sens du courant de fuite, peut être plongée, dans les crues d'aval, d'environ 0,10 à 0,15 m., soit tout au

plus jusqu'au point de rencontre des deux parties *a* et *b* des augets.

Usage. — La roue de poitrine convient aux chutes comprises entre 2,60 et 4 mètres, et même jusqu'à 5 ou 6 mètres. On lui donne généralement un diamètre supérieur d'un mètre à la hauteur de chute. Ce récepteur s'emploie surtout lorsqu'on ne peut pas se servir des roues en-dessus, c'est-à-dire pour les chutes de 2,60 à 3 mètres, et lorsque les deux niveaux, ainsi que le débit, sont susceptibles de varier ; il peut donc s'adapter au régime des étangs, c'est-à-dire à la marche par éclusées.

Rendement. — Les pertes d'énergie sont dues : au frottement de l'eau dans les ajutages JJ′ ; à la vitesse relative avec laquelle ce liquide pénètre dans la roue, à la perte de chute depuis le point *m*, où l'eau entre dans l'auget, jusqu'au niveau *n* qu'elle y prend ; au déversement partiel qui se produit à partir de *c*, un certain jeu existant toujours entre le coursier et la roue ; au frottement de la roue contre ce coursier ; à la perte de chute de *y* au niveau d'aval, et à la vitesse que possède l'eau en s'échappant. Le rendement est compris entre 65 et 70 0/0.

Roue Millot.

M. Millot s'est proposé de supprimer le coursier de la roue de poitrine et le déversement anticipé qui se produit le long de sa surface. Pour cela, il donne aux aubes, qui sont en tôle, un grand développement, de sorte qu'elles coïncident sur une grande longueur avec la circonférence extérieure (fig. 5) ; par cette disposition, le déversement ne se produit que très bas.

Cette forme des aubes exige que l'eau pénètre dans les augets par la partie intérieure. La fonçaille est donc supprimée ; de plus, le canal d'amont A se divise en deux branches B, qui passent des deux côtés de la roue et se terminent par deux huches C ; deux vannes D forment déversoirs et règlent la dépense.

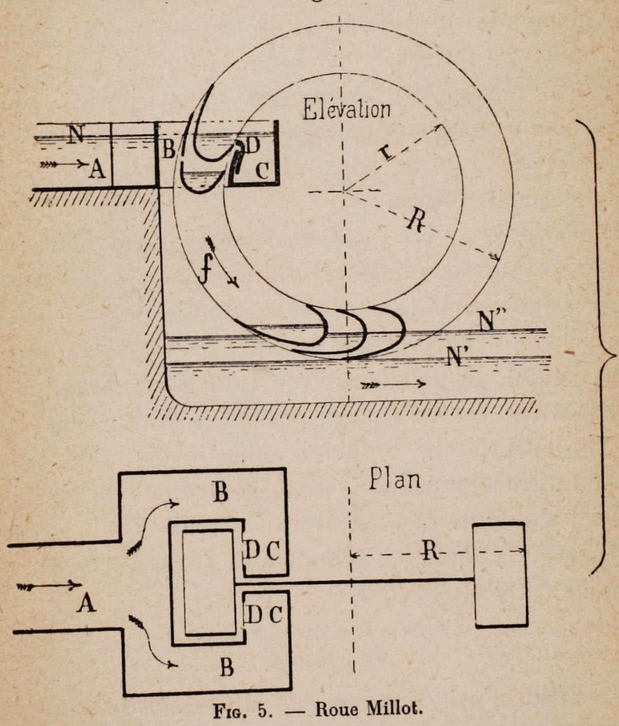


Fig. 5. — Roue Millot.

Cette disposition n'est pas favorable à une bonne entrée de l'eau ; de plus, elle oblige à placer les bras qui relient la roue à l'arbre dans le plan médian, au lieu de les fixer aux couronnes ou joues qui encadrent les augets ; on ne peut donc donner à la roue une

largeur supérieure à 1,50 m. Pour ces raisons la roue Millot ne peut convenir qu'à des chutes inférieures à 4 ou 5 mètres et à de faibles débits, et, même dans ces limites, sa construction et son installation coûteuses la font souvent rejeter.

La partie inférieure, tournant dans le sens du courant d'aval, peut être noyée de

$$\frac{R - r}{2}.$$

soit au plus 20 centimètres.

CHAPITRE III

LES ROUES DE COTÉ A PALETTES

Roue de côté, à aubes planes, sans tête d'eau : description, usage, rendement. — Roue de côté, à aubes planes, à tête d'eau : description, dimensions, usage, rendement. — Roue-siphon de Sagebien : description, dimensions, usage, rendement.

Roue de côté, à aubes planes, sans tête d'eau.

Description. — Cette roue (fig. 6) reçoit l'eau au-dessous du centre *o* et tourne dans un coursier circulaire.

L'aubage est formé de trois parties : l'aube proprement dite *c*, la contre-aube *f* et la fonçaille *g*; cette dernière est interrompue, pour former les évents destinés à la sortie et à la rentrée de l'air. Ce dispositif n'est pas, comme dans les roues à augets, maintenu entre deux joues ou couronnes, montées sur les bras de la roue, mais il tourne dans l'intérieur d'un coursier, qui empêche l'eau de s'échapper latéralement.

Le canal d'amont porte une vanne *plongeante a*, qui s'abaisse pour permettre à l'eau de s'écouler en déversoir. Cette vanne glisse contre une partie fixe *b*, scellée dans les murs latéraux du canal et appelée *contre-vanne* ou *col de cygne*. A la suite du col de cygne se trouve le coursier, formé d'un *radier* circulaire *k* et de deux parois latérales ou *bajoyers h*, placées sur le prolongement des parois du canal. Le radier circulaire est prolongé par le radier du

canal de fuite. Ce système, qu'on nomme le *coursier*, la *rayère* ou le *noc* de la roue, maintient l'eau dans

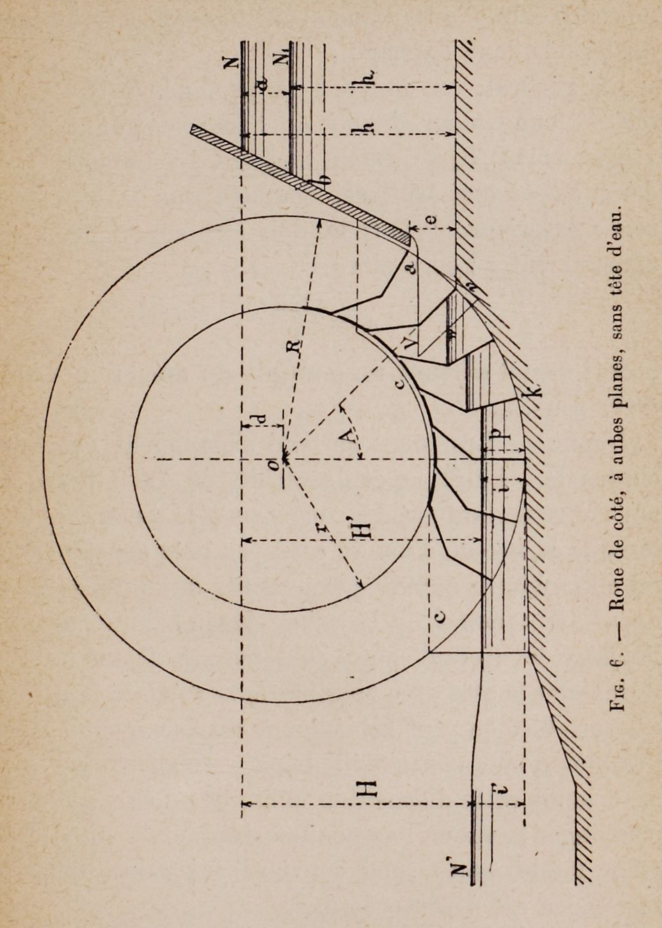


Fig. 6. — Roue de côté, à aubes planes, sans tête d'eau.

le récepteur entre les deux niveaux NN' d'amont et d'aval et l'empêche de s'échapper latéralement.

Le centre *o* de la roue se place au-dessus du niveau d'amont, d'une quantité qui varie de 0,50 m. pour les

chutes les plus élevées, à 1 mètre pour les chutes les plus basses. En temps ordinaire, la roue doit plonger dans les eaux d'aval d'une quantité égale à la hauteur du liquide dans l'aubage.

En général, on donne à la profondeur $R - r$ de l'auget une valeur double de l'abaissement z de la vanne, soit 0,70 à 0,80 m. au plus. La distance E de deux aubes consécutives, comptée sur la circonférence extérieure de la roue, doit être supérieure à cet abaissement z ; on a alors

$$n = \frac{2\pi R}{E}.$$

n dóit être d'ailleurs un multiple du nombre des bras de la roue.

Usage. — Les roues de côté s'emploient avec des chutes de 1 à 2,60 m. et des débits de 200 à 300 litres par mètre de largeur. La roue sans tête d'eau convient lorsque le niveau d'amont est à peu près constant, car on doit réduire autant que possible la chute de l'eau depuis le sommet de la vanne jusqu'à l'intérieur de l'aubage et il faut pour cela que le sommet de la vanne soit le plus près possible de la roue. Si le niveau est variable, on peut remédier à cet inconvénient par l'emploi d'une vanne cylindrique, concentrique à la roue, mais cette disposition exige une fosse profonde pour loger la vanne lorsqu'elle est abaissée. La vitesse étant faible, cette roue convient aux usines dont la résistance est à peu près fixe.

Rendement. — Le rendement est meilleur qu'avec la roue à tête d'eau, ce qui la fait préférer toutes les fois que la puissance de la chute doit être utilisée aussi complètement que possible.

Les pertes de travail sont dues : au frottement de l'eau sur la vanne *a*, à sa vitesse relative en entrant dans la roue, au jeu qui existe nécessairement entre la roue et son coursier, au frottement du liquide contre le coursier, à la vitesse qu'il possède en s'échappant de l'appareil ; enfin une dernière perte se produit lorsque le niveau de l'eau n'est pas le même dans le canal de fuite et dans le récepteur. Le rendement varie avec la hauteur de la chute ; il est de 60 à 65 0/0 pour les chutes de 1 à 1,30 m. et de 70 à 75 0/0 pour les chutes de 2 à 2,50 m.

Roue de côté, à aubes planes, à tête d'eau.

Description. — L'aubage de ce récepteur est semblable à celui du précédent, mais la fonçaille est percée d'évents. L'axe de la roue peut se trouver à une hauteur quelconque par rapport au niveau d'amont.

Le conduit d'amenée (fig. 7) est muni d'une *vanne de fond b*, sous laquelle l'eau doit passer. Cette vanne est inclinée, afin de rapprocher le plus possible l'orifice de la roue et de diminuer la contraction de la lame liquide ; le seuil de la vanne est incliné vers la roue, pour conserver à l'eau sa vitesse. Le coursier se compose d'un radier circulaire *k'* et de deux bajoyers *c*.

La tête d'eau *h* comprend la distance du niveau d'amont N au seuil de la vanne.

Le nombre et l'espacement des aubes se déterminent comme pour la roue précédente.

Lorsque le niveau d'amont ou le débit subissent de grandes variations, il peut être nécessaire de maintenir constante la vitesse absolue de l'eau ; on peut se servir pour cela de deux vannes ayant chacune leur

mécanisme de manœuvre, ou recourir au vannage à persiennes, employé d'ordinaire pour la roue de poitrine.

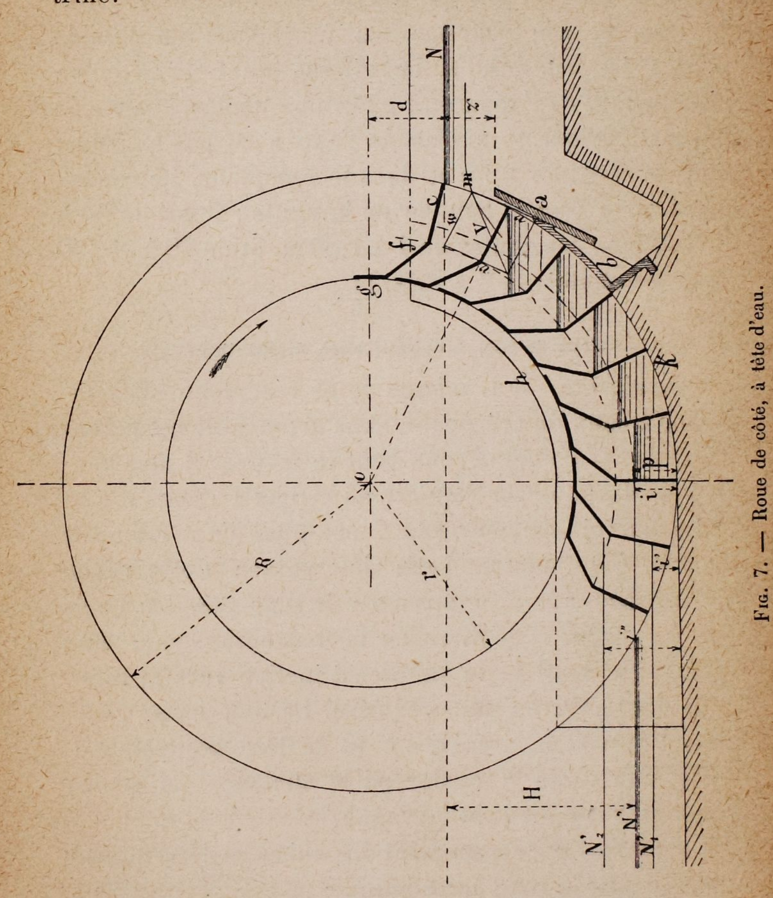


Fig. 7. — Roue de côté, à tête d'eau.

Dimensions. — Il est avantageux de donner à ces roues un grand diamètre, 3,50 à 7 mètres. La profondeur R — *r* de l'aubage varie de 0,40 à 1 mètre.

Usage. — La roue de côté à tête d'eau s'emploie de

préférence lorsque le niveau d'amont ou le débit sont très variables, parce que ces changements influent moins sur la vitesse d'entrée du liquide et sur le rendement. Elle convient encore lorsqu'on dispose d'un grand volume d'eau par seconde, parce qu'elle peut être moins large et par suite moins coûteuse, et lorsque la puissance de la chute est supérieure à celle dont on a besoin, car elle permet de sacrifier une partie du rendement pour diminuer les frais d'installation de la roue et de la transmission de mouvement. Enfin sa résistance lui permet d'agir comme un volant pour remédier aux variations de résistance de l'usine.

Rendement. — Les causes de perte d'énergie sont les mêmes que dans la roue sans tête d'eau. Le rendement varie de 40 à 55 0/0, suivant la hauteur de la chute.

La vitesse de la roue de côté à tête d'eau est au moins double de celle de la roue sans tête d'eau ; de là résulte une augmentation de la perte de force vive qu'il y a intérêt à réduire, en utilisant une partie de l'énergie que possède l'eau en sortant de la roue pour faire remonter le liquide jusqu'au niveau d'aval, en produisant un ressaut superficiel.

Roue-siphon de Sagebien.

Description. — Cette roue de côté est la meilleure au point de vue du rendement. Les aubes (fig. 8), sont planes ; elles sont tangentes à un petit cercle, concentrique à la roue, et sont dirigées suivant la vitesse relative ; comme la vitesse moyenne de l'eau et celle de la roue sont peu différentes, il en résulte que ces aubes sont à peu près inclinées à 45° sur la sur-

face de l'eau. L'aubage est très profond et dépourvu de fonçaille.

Le canal d'amont vient aboutir au coursier de la roue ; il porte une vanne plongeante, glissant derrière un col de cygne qui prolonge le radier du coursier.

Fonctionnement. — La vanne n'agit pas comme un déversoir ; grâce à la grande épaisseur de la lame d'eau et à la faible vitesse de la roue, le liquide rencontre le récepteur avec une vitesse moyenne peu différente de sa vitesse dans le canal d'amenée ; les vases formés par les aubes plongent dans l'eau sans résistance sensible, et le liquide s'y élève au même niveau que dans le canal d'amont pendant une grande partie de la rotation. Ces vases sortent ensuite peu à peu de l'eau, puis ils se vident complètement ; bien que la direction des aubes soit peu favorable à cette émersion, l'eau n'offre que peu de résistance à ce mouvement, grâce à la faible vitesse de la roue, qui est de 0,60 à 0,80 m. à la circonférence extérieure.

L'épaisseur z de la lame d'eau peut atteindre et même dépasser 1,50 m. Lorsque le niveau d'amont ou le débit sont susceptibles de varier, la crête de la vanne doit pouvoir suivre ces variations, afin de rendre constante la valeur de z dans le premier cas, ou, dans le second, de modifier au contraire cette valeur pour compenser les inégalités du débit. On se sert alors d'une vanne courbe, dont la partie supérieure reste toujours à une distance sensiblement constante de la roue.

Dimensions. — On donne ordinairement à la roue

Coupe longitudinale

Coupe transversale

Fig. 8. — Roue Sagebien.
(D'après une photographie communiquée par M. P. Darblay.)

Sagebien un rayon compris entre 3 et 6 mètres ; on détermine la valeur exacte de cet élément, ainsi que la hauteur à laquelle doit être placé l'arbre, par plusieurs essais successifs. Plusieurs motifs obligent à adopter un aussi grand rayon : il faut d'abord que les aubes n'éprouvent en sortant de l'eau qu'une résistance insensible, ce qui exige que l'angle qu'elles forment avec la surface en sortant soit d'au moins 30°. Il faut aussi que, malgré la grande profondeur, les aubes ne soient pas trop rapprochées sur la circonférence intérieure, leur distance sur la circonférence extérieure ne dépassant pas 0,45 m. Enfin le niveau des eaux d'aval ne doit pas, dans les crues, dépasser la circonférence intérieure de l'aubage.

La profondeur R — *r* de l'aubage s'obtient en remarquant qu'il doit être complètement rempli par l'eau d'amont et en tenant compte de l'épaisseur des aubes. La distance E des aubes, comptée sur la circonférence extérieure, doit être comprise entre 0,30 et 0,45 m., soit en moyenne 0,35 à 0,40 m. Le nombre des aubes s'obtient donc par la formule :

$$n = \frac{2\pi R}{E}$$

Ce nombre doit être un multiple de celui des bras.

Usage. — La roue Sagebien peut être employée dans les mêmes cas que les autres roues de côté, soit pour des chutes de 0,60 à 2,60 m. Elle peut dépenser un grand volume d'eau par mètre de largeur (200 à 1200 litres) et par seconde ; elle peut être immergée de 1 mètre et même davantage ; elle convient donc aux grands débits. Sa vitesse étant très faible, elle s'ap-

plique surtout aux usines qui n'emploient pas d'outils tournant très vite et dont la résistance est à peu près constante. Dans le cas de résistance variable, on serait obligé d'interposer, entre la roue et le mécanisme, soit un volant, soit une résistance variable, telle qu'une poulie à frein.

Pour actionner des outils tournant rapidement, il faudrait faire usage d'une transmission, dont le prix d'établissement s'ajouterait à celui de la roue, déjà coûteuse par ses grandes dimensions et la profondeur de son aubage. Au contraire, la roue Sagebien convient très bien pour actionner des pompes, car son travail ou son débit est proportionnel à la vitesse, comme le travail des pompes élévatoires ; le rapport entre le travail moteur et le travail en eau élevée reste donc constant théoriquement.

Rendement. — Les pertes d'énergie sont dues aux mêmes causes que dans les autres roues de côté ; mais certaines de ces pertes sont plus faibles.

La perte due au passage sur la vanne est négligeable. Le rendement réel ou pratique s'élève à 80 à 90 0/0, suivant la hauteur de la chute et les dimensions de l'appareil ; il est donc notablement supérieur à celui des autres roues de côté ; aussi ce récepteur est-il très fréquemment employé pour les petites chutes.

CHAPITRE IV

LES ROUES EN DESSOUS

Roue en dessous à aubes planes : description, ancienne disposition, dimensions, usage. — Roue Poncelet à aubes courbes : description, dimensions, rendement. — Roue pendante ou flottante ; roue de Colladon ; propulseur à palettes. — Roues américaines : roue Pelton ; roue Bookwalter ; roue Leffel.

Roue en dessous à aubes planes.

Description. — Cette roue, destinée aux petites chutes, a des aubes planes, dirigées suivant les rayons ; elle ne porte ni contre-aubes ni fonçaille. L'eau n'agit plus par son poids, comme dans les récepteurs précédents, mais seulement par sa force vive. Le canal d'amont (fig. 9) est muni d'une vanne *a*, assez inclinée pour que son seuil soit très rapproché de la partie inférieure de la roue. Ce seuil se prolonge par un radier légèrement en pente, afin de conserver au liquide la vitesse due à la tête d'eau *h*, puis par une portion *k* de coursier circulaire, qui doit emboîter la roue sur un arc un peu supérieur au pas de l'aubage. A la suite de ce coursier se trouve un second radier légèrement incliné, qui s'étend jusqu'à l'extrémité des bajoyers *c*. Le canal de fuite se creuse alors brusquement et reprend un peu plus loin la direction horizontale.

Fonctionnement. — L'eau, en vertu de sa force vive, vient frapper les aubes *b* et s'élève dans l'aubage à une hauteur *p* ; grâce au coursier *k*, la communication

se trouve toujours interrompue entre le bief d'amont et le bief d'aval. L'eau, s'écoulant ensuite sur le radier incliné, conserve la vitesse qu'elle avait en sortant de la roue ; il se produit ensuite un ressaut superficiel, qui utilise une partie de la force vive du liquide pour le faire remonter à la hauteur du niveau d'aval N′.

Ancienne disposition. — On trouve encore dans l'industrie d'anciennes roues en dessous dont la disposition est mauvaise. La vanne est verticale ; son

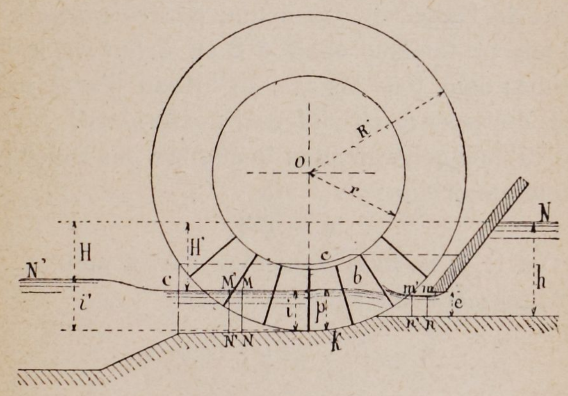


Fig. 9. — Roue en dessous, à aubes planes.

seuil est prolongé par un coursier à peu près horizontal, qui s'étend jusqu'à la verticale de l'arbre *o*, où il vient affleurer le nivenu d'aval N′. Là commence immédiatement le canal de fuite. Le bas de la roue affleure le niveau N′ ; par cette disposition, les deux biefs sont toujours en communication, sauf au moment où une aube se trouve verticale. Il résulte de là qu'une grande partie de l'eau passe d'amont en aval sans agir sur le récepteur. En outre, il se produit une perte d'énergie importante par le frottement de l'eau sur le coursier

entre la vanne et la roue, et, comme cette dernière n'est pas immergée dans l'eau d'aval, il y a encore là une perte de chute. Aussi le rendement de ces anciennes roues ne dépasse jamais 10 à 15 0/0.

Dimensions. — Le diamètre de la roue en dessous se détermine comme celui des roues de côté à tête d'eau ; il doit être compris entre 3,50 et 7 mètres, suivant la hauteur de la chute. En l'augmentant, on facilite l'émersion des aubes, mais on augmente le prix de revient de l'appareil. On donne généralement à l'aubage une profondeur égale à 2 ou 3 fois la levée de la vanne ; dans tous les cas, le niveau d'aval ne doit jamais dépasser la circonférence extérienre.

On calcule généralement le nombre des roues par la formule empirique :

$$n = 12R,$$

le rayon R de la roue étant exprimé en mètres.

L'écartement des aubes est alors :

$$E = \frac{2\pi R}{n} = \frac{\pi}{6} = 0{,}52 \text{ m.}$$

On peut prendre jusqu'à 0,60 m.

Usage. — La roue en dessous à aubes planes s'emploie généralement pour des chutes inférieures à 1 mètre ; sa grande vitesse et son débit élevé permettent de réduire sa largeur. La construction est simple et économique, mais la faible valeur du rendement, 35 0/0, limite beaucoup les emplois de ce récepteur, qu'on a tout avantage à remplacer par le suivant.

Roue Poncelet à aubes courbes.

Description. — Poncelet a augmenté notablement le rendement de la roue en dessous en faisant les

aubes courbes et le coursier en développante de cercle, afin que tous les filets liquides rencontrent la circonférence extérieure sous le même angle. Les aubes ont la forme d'arcs de cercle normaux à la circonférence intérieure ; elles sont comprises entre deux joues ou couronnes, comme dans les roues à augets, mais il n'y a pas de fonçaille.

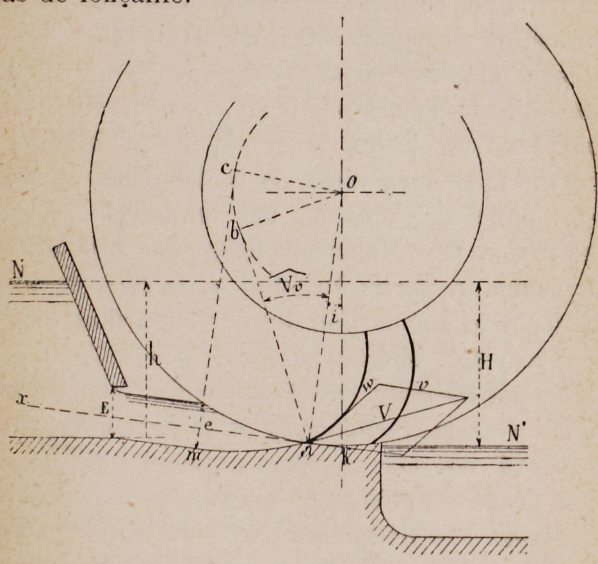


Fig. 10. — Roue Poncelet, à aubes courbes.

La vanne de fond est inclinée comme pour les roues de côté à tête d'eau et les roues en dessous à aubes planes.

Primitivement, le coursier présentait une forme rectiligne, telle que *ax* (fig. 10), ce qui obligeait à donner à la roue un très grand rayon ; en outre, un seul filet, celui pour lequel avait été fait le tracé de l'aubage, pénétrait dans la roue sans choc. Poncelet a

adopté ensuite un coursier en développante, qui supprime ces inconvénients.

Par le centre *o* de la roue, on mène le rayon *oa*, faisant avec la verticale un angle *i* égal à celui du coursier rectiligne avec l'horizon, puis on trace en *a* un angle *oab* égal à l'angle V*v*, que doivent faire ensemble les vitesses absolues de l'eau et de la roue, soit 15°. On trace, de *o* comme centre, un cercle tangent à *ab*, sur lequel on prend un arc *bc* égal à l'épaisseur *e* de la lame d'eau ; puis, à partir de *a*, on décrit la développante du cercle de rayon *ob*, jusqu'au point *m*, placé sur le prolongement de la tangente en *c* à ce cercle ; enfin on raccorde, par un arc de cercle de grand rayon, l'arc de développante *am* avec le seuil de la vanne. A partir du point *a*, la roue se trouve emboîtée dans une portion de coursier circulaire, dont la longueur doit dépasser un peu le pas de l'aubage.

Grâce au coursier en développante, tous les filets liquides viennent rencontrer la circonférence extérieure de la roue sous le même angle ; il suffit donc de tracer l'aube de telle sorte que son premier élément soit tangent à la vitesse relative *w* du liquide par rapport à la roue, pour que tous ces filets pénètrent sans choc dans le récepteur.

La mise en train est difficile lorsque la roue se trouve immergée, par exemple dans les crues d'aval ; il faut alors modifier un peu la disposition précédente et augmenter l'angle *i*, ce qui relève le seuil de la vanne et empêche l'orifice d'être noyé dans les crues.

Dimensions. — On donne généralement aux aubes un écartement E de 0,25 m. lorsqu'elles sont en tôle, de 0,30 à 0,45 m. lorsqu'elles sont en bois. Leur nombre,

qui doit être un multiple de celui des bras, s'obtient par la formule ordinaire :

$$n = \frac{2\pi R}{E}$$

Rendement. — Le rendement théorique de la roue Poncelet s'élèverait à 0,933, mais le rendement pratique est notablement au-dessous de cette valeur ; il est de 65 0/0 pour les chutes inférieures à 1 mètre, de 60 pour celles de 1,30 à 1,50 m., et de 55 pour celles de 1,80 à 2 mètres. Il prend d'ailleurs sa valeur maximum pour $v = 0{,}55\ V$, tandis que, d'après la théorie, il devrait l'atteindre pour $v = 0{,}5\ V$. On voit que, au point de vue du rendement, la roue Poncelet est supérieure à la roue en dessous à aubes planes, mais inférieure à la roue de côté sans tête d'eau.

Roue pendante ou flottante.

Cette roue, dont la construction est identique à celle de la roue en dessous à aubes planes, ne comporte ni retenue d'eau ni barrage, et n'a pas de vanne. Elle s'installe sur un cours d'eau ; ses palettes viennent plonger à tour de rôle dans le courant, qui agit sur elles par sa force vive. La largeur et la profondeur du cours d'eau sont généralement très grandes par rapport aux dimensions des palettes.

Le diamètre de la roue pendante est généralement compris entre 4 et 6 mètres ; la profondeur de l'aubage varie entre 1/4 et 1/5 du rayon ; l'écartement est de 0,50 à 1 mètre.

Cette roue doit évidemment suivre les variations de niveau du cours d'eau sur lequel elle est située ; si l'usine est installée avec elle sur un même bateau, cela

n'offre pas de difficulté; mais, si l'usine est fixe, on doit installer la roue de façon qu'elle puisse remonter ou descendre avec l'eau.

Roue de Colladon.

Colladon a imaginé un modèle de roue pendante qui suit les fluctuations du niveau sans nécessiter aucun mécanisme. Cette roue (fig. 11) se compose d'un cylindre

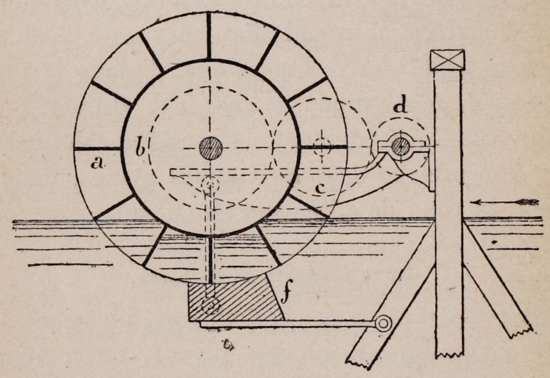


FIG. 11. — Roue pendante de Colladon.

fermé à ses deux extrémités par des hémisphères et parfaitement étanche, sur la surface duquel sont fixées les palettes *a*. L'axe de ce cylindre est supporté par deux balanciers *c*, pouvant osciller autour de l'axe de l'arbre de couche *d*, qui est relié à celui de la roue par trois engrenages cylindriques ; ce mode de liaison permet au tambour de monter et de descendre, suivant les variations du niveau. L'arbre *d* est porté par des poteaux en bois implantés dans le lit du courant. Un petit coursier *f*, suspendu aux balanciers *c* et relié par deux bielles aux poteaux fixes, accroît la pression de

l'eau sur les palettes, en supprimant la communication directe entre l'amont et l'aval sur toute la largeur de la roue.

Propulseur à palettes.

Les roues à palettes des bateaux à vapeur offrent une grande analogie avec les roues pendantes.

Leurs aubes, recevant du moteur un mouvement de rotation, viennent successivement prendre un point d'appui sur le liquide, ce qui détermine le mouvement de translation du bateau. Afin de rester constamment en prise avec le courant, chaque roue est disposée de telle sorte que plusieurs de ses aubes plongent toujours en même temps dans l'eau. Les aubes plongées, étant en petit nombre, peuvent être considérées comme sensiblement parallèles; le liquide qu'elles renferment, se trouvant à peu près dans des conditions statiques, ne crée aucune résistance au mouvement et tout se passe comme si une seule aube était plongée normalement au courant.

Roues américaines.

Les Américains utilisent, dans les cas où les turbines ne peuvent pas servir, un certain nombre de roues hydrauliques ; il nous paraît utile d'en décrire quelques-unes.

Roue Pelton. — Le plus intéressant de ces récepteurs est la roue Pelton, très employée aux États-Unis et surtout dans les régions minières de la Californie, à cause de sa souplesse d'adaptation et de son rendement, qui s'élève à 80 ou 87 0/0.

Elle constitue une sorte de turbine à impulsion ,à axe horizontal, et convient surtout pour les hautes chutes à

faible débit; elle peut servir depuis 10 jusqu'à 100 mètres de chute, et même davantage, et fournir depuis 1/20 de cheval jusqu'à 5000 chevaux.

Elle doit son rendement élevé surtout à la forme de ses augets, qui présentent des angles d'entrée et de sortie voisins de 90°, et sont divisés en deux parties par une arête radiale aiguë, séparant le jet en deux nappes dont les réactions latérales s'équilibrent sur

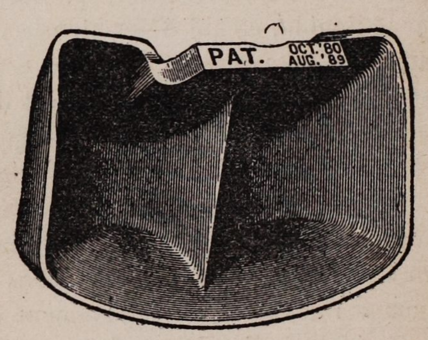


Fig. 12. — Auget d'une roue Pelton de 0,60 m. de diamètre.

l'appareil. Ces augets se font généralement, au moins pour les petites dimensions, en bronze phosphoreux bien poli, et présentent des bords très minces, afin de gêner le moins possible l'action du jet. Leur largeur est de 5 à 10 fois le diamètre du jet, de sorte que le liquide s'étale largement en une lame de très faible épaisseur.

L'auget représenté (fig. 12) est vu en vraie grandeur; il appartient à une roue de 0,60 m. de diamètre, donnant 175 chevaux avec une chute de 246 mètres.

Pour les grandes dimensions, les augets peuvent se faire en fonte trempée. Pour les grandes chutes, la roue doit présenter une grande vitesse, car le rende-

ment est maximum lorsque la vitesse à la circonférence moyenne est égale à la moitié de celle de l'eau qu'elle reçoit.

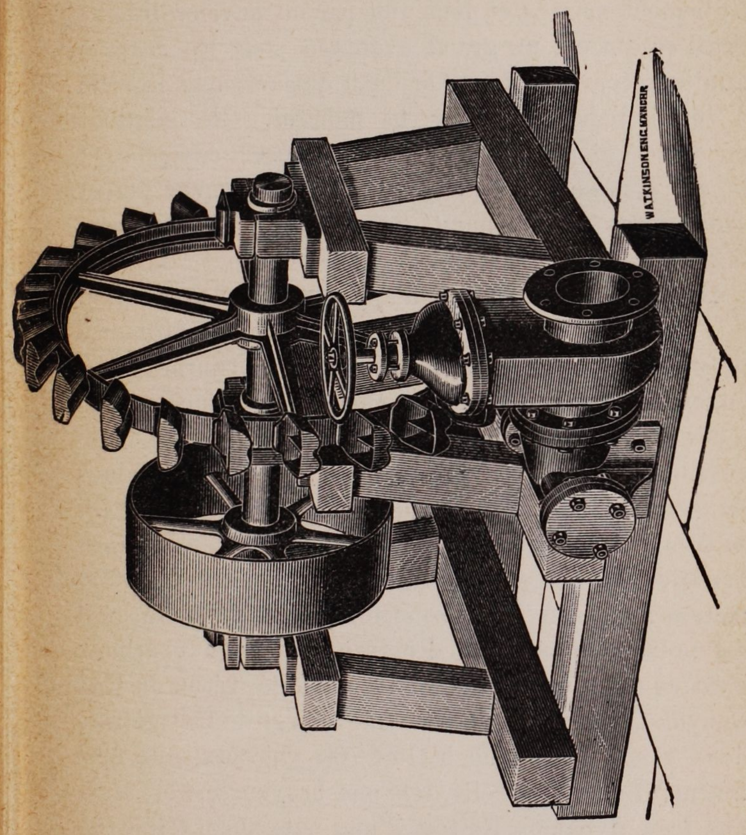


Fig. 13. — Roue Pelton (Sloane).

En résumé, la roue Pelton constitue une sorte de turbine économique et d'un entretien facile. Le corps de la roue (fig. 13) est en fonte, les tuyaux en acier. On entoure généralement l'appareil d'une enveloppe qui empêche l'eau de rejaillir ; cette enveloppe peut être

en fer ; elle est alors fabriquée avec la roue. On peut aussi se contenter de faire exécuter sur place une enveloppe en bois. Les augets et les tuyaux peuvent être facilement montés et démontés par un ouvrier intelligent, ce qui est un grand avantage pour les régions minières écartées. Lorsque l'eau qui actionne la roue a servi d'abord à tirer le minerai, elle contient du sable qui peut, avec le temps, user ces pièces ; il est commode de pouvoir les changer sur place, sans autre inconvénient qu'un arrêt de quelques minutes.

La roue Pelton permet d'appliquer à la production de l'électricité des chutes qui ne pourraient être employées avec les turbines ordinaires ; le courant ainsi engendré peut être ensuite transmis à des mines situées à des hauteurs et dans des régions pratiquement inaccessibles à toute autre forme d'énergie. Ainsi les mines du mont Sneffes, appartenant à la *Caroline Mining C°*, se trouvent au milieu des Montagnes Rocheuses, dans la région des neiges perpétuelles (4800 mètres), à 1500 mètres au-dessus de la zone forestière, de sorte qu'il est presque impossible d'y transporter du charbon ; c'est ce qui y a fait adopter l'électricité. L'eau du Red Canyon Crick actionne, sous une charge de 150 mètres, deux roues Pelton de 500 et 700 chevaux, qui font tourner divers appareils, tels que broyeurs, etc., ainsi que trois dynamos Édison, d'une puissance totale de 293 chevaux ; le courant est transmis à la mine, sous une tension de 800 volts, par une ligne de 7400 mètres, et y actionne les ventilateurs, broyeurs, pompes, treuils, etc. On économise ainsi annuellement plus de 200000 francs de charbon.

Roue Bookwalter. — Cette roue (fig. 14), qui convient également pour les hautes chutes, est intermé-

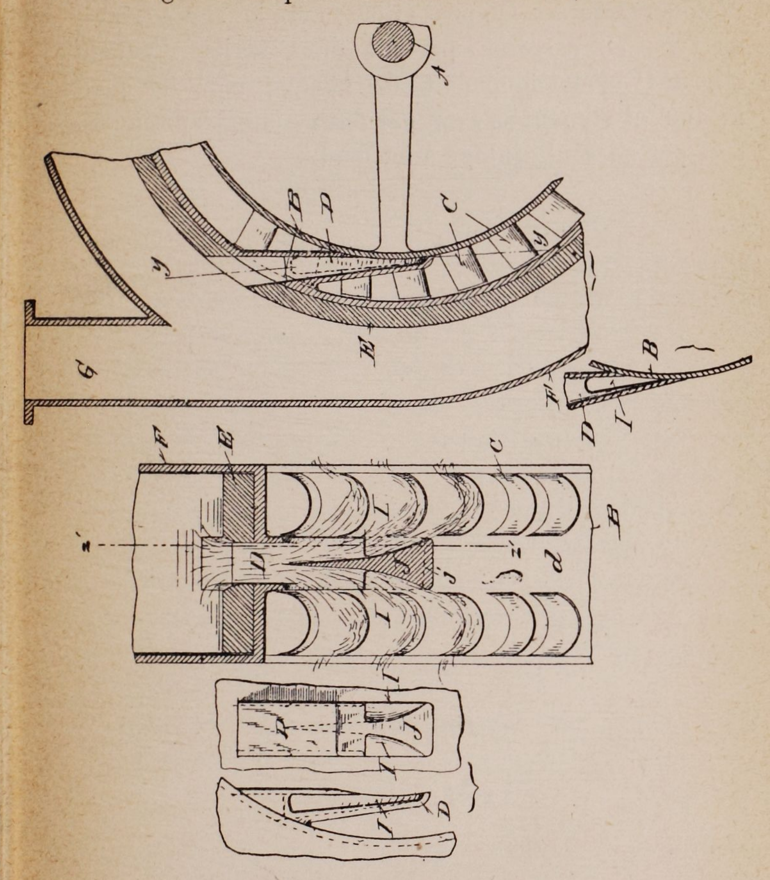


Fig. 14. — Roue Bookwalter (coupes *yy* et *zz* ; détail de l'ajutage).

diaire entre les roues genre Pelton proprement dites et les turbines à impulsion. Elle porte deux couronnes d'augets symétriques C, ouverts à l'air libre ; l'eau arrive par G E, pénètre dans les ajutages D, tangents au tambour B de la roue, qui la répartissent entre

les deux séries d'augets par les ouvertures latérales II et le déflecteur J. Le vannage E règle le débit.

Roue Leffel. — On peut citer encore les roues Leffel, du type *en cascade,* portant deux séries d'augets alternés symétriquement de chaque côté du plan médian et alimentées, soit par deux ajutages distincts, soit par un seul ajutage à jet fendu.

CHAPITRE V

LES TURBINES

Principe des turbines. — Avantages et inconvénients. — Classification. — Réaction et libre déviation.

Principe des turbines. — Une turbine est un récepteur hydraulique composé de deux couronnes montées sur un même axe : l'une de ces couronnes est fixe et contient des cloisons *directrices ;* l'autre couronne ou *roue* est mobile et munie de cloisons *réceptrices* ou *aubes*. Tandis que les roues, sauf toutefois les roues en dessous, utilisent plus spécialement le poids de l'eau motrice, les turbines ne doivent leur mouvement qu'à la force vive du liquide. Les aubes, étant dirigées en sens contraire des directrices, sont frappées par l'eau qui s'échappe de ces dernières et qui leur abandonne la plus grande partie de la force vive qu'elle possède.

Pour les turbines, comme pour les roues, on a encore les relations :

$$T = PH = 1000\ QH$$

$$T' = RT$$

$$W = \frac{T'}{75} = \frac{RT}{75}$$

On connaît toujours deux des trois quantités H, Q et W. La valeur du rendement est en général de 70 à 75 0/0 ; avec ces données, on peut calculer les dimensions du récepteur qu'il convient d'employer.

Ainsi, si l'on veut utiliser complètement le liquide fourni par un cours d'eau, on mesure la chute H et l'on détermine le débit Q par un jaugeage ; les équations précédentes indiquent alors la puissance W dont on pourra disposer. Si, au contraire, le débit du cours d'eau est surabondant, on mesure H, on donne à W la valeur qu'on veut obtenir, et l'on peut ensuite calculer la quantité Q qu'il faudra dépenser par seconde. On pourrait aussi, dans ce dernier cas, utiliser toute la masse liquide et diminuer la chute H, dont on calculerait la hauteur, connaissant Q et W.

Si la hauteur H est susceptible de varier, il convient de prendre sa valeur minimum, si l'on veut que la puissance du récepteur reste constante. D'une manière générale, il est bon de calculer toujours les dimensions de l'appareil assez largement, les procédés de jaugeage n'étant jamais très rigoureux.

Avantages et inconvénients des turbines. — Les turbines sont employées aujourd'hui bien plus fréquemment que les roues ; elles offrent en effet un grand nombre d'avantages. Ainsi elles permettent d'utiliser des sources naturelles qu'on ne pourrait pas exploiter avec les roues, car elles peuvent donner le même rendement soit avec des volumes d'eau énormes sous des chutes très variables, comme cela a lieu pour les cours d'eau des plaines soumis à des crues parfois considérables, soit avec des débits très faibles sous des chutes très élevées, comme cela se présente souvent dans les pays de montagnes.

En outre, comme elles reçoivent l'eau motrice sur toute leur périphérie, elles peuvent avoir des dimensions bien plus restreintes que les roues, et, comme elles

tournent plus vite, la transmission du mouvement à l'arbre de couche s'effectue bien plus simplement. L'arrivée de l'eau sur toute la circonférence a aussi l'avantage de supprimer les pressions perpendiculaires à l'arbre, qui est généralement vertical ; il ne reste qu'une poussée verticale, qui diminue le frottement de l'arbre sur son pivot.

Les turbines à axe vertical peuvent, le plus souvent, être complètement plongées dans les eaux d'aval sans que cela présente d'inconvénients. Cette immersion complète permet de placer la turbine le plus bas possible, de façon à utiliser le maximum de chute. De plus, les turbines peuvent, grâce à leur disposition, fonctionner même lorsque la surface du canal d'amont est complètement gelée, et elles laissent libre le rez-de-chaussée du bâtiment où elles sont installées, car elles se placent au-dessous. Construites entièrement en métal, les turbines présentent une grande solidité ; enfin le sens de leur rotation est complètement indépendant de la direction du cours d'eau.

D'un autre côté, les turbines obligent à creuser le canal de fuite plus profondément que pour la plupart des roues, et elles se laissent obstruer plus facilement que celles-ci par les corps étrangers.

En général, la puissance produite par les turbines coûte moins cher que celle donnée par les machines à vapeur, mais, pour que le moteur hydraulique soit réellement avantageux, il faut qu'il ne soit pas exposé à des chômages trop fréquents et trop prolongés, soit par manque d'eau, soit par les crues, ce qui oblige à avoir en même temps une machine à vapeur de secours.

Classification. — Au point de vue du mouvement de l'eau dans leur intérieur, les turbines peuvent se diviser en quatre classes :

1° Les turbines *centrifuges,* dans lesquelles l'eau se meut en s'éloignant de l'axe de rotation, dans un plan perpendiculaire à cet axe. Telle est la turbine Fourneyron ;

2° Les turbines *centripètes,* dans lesquelles l'eau se meut au contraire de la périphérie vers l'axe. Ce type, qui paraît avoir été indiqué par Poncelet, est très répandu en Allemagne et en Amérique ;

3° Les turbines *parallèles,* dans lesquelles l'eau se meut en restant toujours à la même distance de l'axe de rotation. Ce système a été indiqué par Euler en 1754 ; la première application industrielle a été réalisée par Fontaine ;

4° Les turbines *mixtes,* formées par la combinaison du troisième type avec l'un des deux premiers. Elles sont très employées en Amérique et se répandent de plus en plus en Europe ; elles sont généralement centripètes-parallèles.

Dans ces quatre classes, l'axe de rotation peut être placé soit verticalement, soit horizontalement.

Au point de vue de la construction, les turbines peuvent être dites : à bâche ouverte ou fermée ; à admission totale ou partielle ; à axe vertical ou horizontal.

Enfin, au point de vue du mode d'action de l'eau, les turbines peuvent se diviser en : 1° Turbines à *réaction* ou à *pression intérieure ;* 2° turbines *à action* ou *à libre déviation ;* 3° turbines *limites à réaction nulle.*

Réaction et libre déviation. — Une turbine, quelle

que soit sa construction, fonctionne par réaction lorsque l'eau exerce une certaine pression hydrostatique dans les canaux compris entre les aubes; la vitesse du liquide V à la sortie des canaux directeurs est alors inférieure à la vitesse $\sqrt{2gh}$ qui résulterait de la charge hydrostatique. Dans ce cas, les conduits de la roue mobile sont entièrement remplis d'eau et la turbine peut être noyée.

Au contraire une turbine fonctionne par action lorsque la vitesse V est égale à $\sqrt{2gh}$; cela se produit si le liquide, au sortir des directrices, trouve dans la couronne mobile des aubes de section supérieure à celle qui serait strictement nécessaire pour l'écoulement. Les lames d'eau, ne remplissant pas complètement les canaux mobiles, se dévient librement sur les faces convexes des aubes, auxquelles elles transmettent la plus grande partie de leur force vive. On obtient l'agrandissement de section des conduits mobiles en élargissant graduellement la couronne mobile et lui donnant une section trapézoïdale, et l'on assure la libre déviation du liquide sur la face convexe en permettant l'entrée de l'air dans les espaces vides par des ouvertures pratiquées sur les joues de la couronne.

Avec ce mode d'action de l'eau, le débit peut subir de grandes variations sans que le rendement en soit sensiblement affecté; il suffit d'ouvrir complètement le nombre de canaux suffisant pour le débit. Mais il est évident que ces turbines ne peuvent pas fonctionner noyées; elles conviennent donc surtout au cas où le niveau d'aval est peu variable.

Enfin, dans les turbines limites, la lame liquide qui traverse la roue, tout en ne subissant aucune pression

et s'écoulant librement sous l'action de la pesanteur, remplit complètement les conduits. On peut, comme dans les précédentes, régler le débit en fermant entièrement le nombre nécessaire de canaux adducteurs ; de plus, la turbine peut être noyée sans inconvénient ; dans les deux cas, le débit n'est pas sensiblement diminué.

CHAPITRE VI

LES TURBINES CENTRIFUGES

Turbine centrifuge de Fourneyron. — Turbines à grande et à petite vitesse. — Rendement. — Influence du débit sur le rendement. — Dispositifs de Fourneyron et de Girard. — Hydropneumatisation. — Modification du vannage partiel. — Influence de la vitesse de rotation sur le débit. — Construction de la turbine Fourneyron. — Turbine centrifuge à axe horizontal.

Turbine centrifuge de Fourneyron.— La turbine centrifuge se compose de deux couronnes concentriques, la couronne mobile étant à l'extérieur. Le canal d'amenée se termine par une chambre d'eau A (fig. 15), barrée par une cloison de retenue B. Au fond de cette chambre est fixé un cylindre en fonte vertical C, au-dessous duquel se trouve la couronne fixe F de la turbine. Ces deux pièces sont reliées par un tube de fonte D, muni d'une garniture E, qui peut se déplacer de manière à occuper la position représentée sur la figure ou à venir reposer sur la base de la couronne F ; dans ce dernier cas, le tube D interrompt la communication entre le bief d'amont et la couronne mobile, de sorte que la turbine est arrêtée ; elle fonctionne au contraire lorsque le tube D est relevé.

La couronne fixe se compose d'un plateau F, portant des cloisons courbes ou *directrices,* entre lesquelles l'eau d'amont s'écoule horizontalement, du centre à la périphérie. Ce plateau est porté par un fourreau G,

boulonné sous un plancher qui recouvre la chambre d'eau. Il est entouré par la couronne mobile J, formée

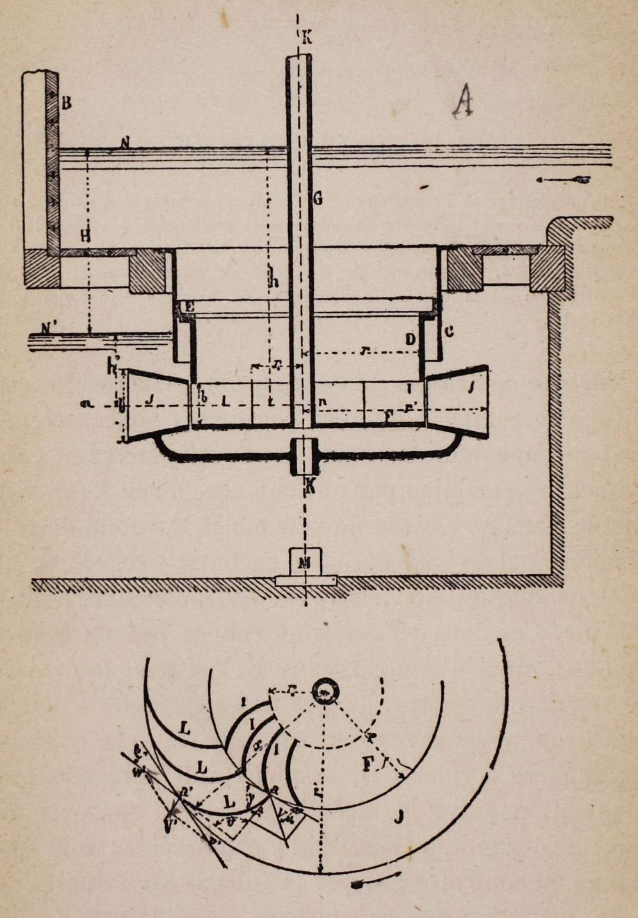


Fig. 15. — Turbine Fourneyron.

de deux joues comprenant entre elles des *aubes* courbes L, en nombre égal à celui des cloisons direc-

trices. Cette couronne est calée, par l'intermédiaire de bras et d'un moyeu, sur l'arbre vertical K, placé à l'intérieur du fourreau G et tournant dans la crapaudine M.

Les intervalles des aubes forment autant de canaux par lesquels l'eau se déverse dans le canal de fuite; mais, comme la courbure des aubes est dirigée en sens contraire de celles des directrices, le liquide vient frapper leur surface, et, en vertu de sa force vive, fait tourner la couronne L dans le sens de la flèche. Ce mouvement est transmis à l'usine par l'arbre K.

Supposons l'appareil en mouvement : le liquide, en s'échappant des directrices, possède une vitesse absolue V, dont la direction coïncide avec celle du dernier élément de ces cloisons. En pénétrant dans la roue mobile J, il prend une vitesse relative w, qui est la résultante de V et d'une vitesse égale et contraire à celle v de la roue ; pour que le passage d'une couronne à l'autre s'effectue sans choc, il faut que le premier élément des aubes L soit parallèle à la direction de w. De même, au sortir des aubes, le liquide s'échappe avec une vitesse absolue V', qui est la résultante de la vitesse absolue v' de la roue J et de la vitesse relative w', dirigée suivant la tangente à l'aube en a'.

La vitesse V' doit être évidemment aussi faible que possible, car la force vive que possède le liquide en s'écoulant dans le bief d'aval représente une perte de travail. Pour diminuer cette vitesse, qu'il est pratiquement impossible de rendre complètement nulle, il faut avoir

$$w' = v'$$

et rendre aussi petit que possible l'angle β, que fait w' avec le prolongement de v', ou le dernier élément a' de l'aube avec la circonférence extérieure. Cet angle ne peut être nul, parce que l'un des côtés de l'orifice de sortie serait nul aussi, mais il ne doit pas dépasser 20 à 30°. En général, l'angle θ, que font les tangentes à l'aube en a et en a', ne doit pas être inférieur à 90° ou tout au moins à 75 ou 80°, afin que le mouvement relatif de l'eau n'éprouve pas de brusques changements de direction.

Dans la pratique, il existe nécessairement entre les deux couronnes un petit intervalle, que nous avons supprimé sur la figure précédente : on doit s'efforcer de régler les dimensions des orifices, ainsi que les valeurs de α et β, pour qu'il n'y ait ni sortie, ni rentrée d'eau par cet intervalle.

Turbines à grande et à petite vitesse.— On a désigné ordinairement sous le nom de turbines à petite vitesse celles pour lesquelles le rapport $\frac{v}{V}$ est inférieur à 0,60, et l'on donne celui de turbines à grande vitesse aux appareils pour lesquels ce rapport est compris entre 0,60 et 1.

Rendement. — Le calcul montre que le rendement augmente à mesure que les angles α et β diminuent; il est donc plus grand pour les turbines à petite vitesse. Il serait avantageux de donner aux rayons r et r' des deux couronnes des valeurs aussi peu différentes que possible, mais, afin de laisser aux aubes un développement suffisant pour éviter les variations brusques de courbure, on donne généralement au rapport $\frac{r'}{r}$ des valeurs comprises entre 1,20 et 1,50.

Le rendement pratique varie de 70 à 75 0/0 pour les turbines à petite vitesse, de 58 à 62 0/0 pour les appareils à grande vitesse, en supposant la roue mobile complètement immergée dans l'eau d'aval.

Lorsque cette couronne ne plonge que d'une manière incomplète, on perd nécessairement une certaine hauteur de chute : il convient donc de la placer au-dessous du niveau de l'étiage, au moins pour les chutes qui ne sont pas d'une très grande hauteur.

Influence du débit sur le rendement. — Le cylindre D (fig. 15) ne sert pas seulement à produire l'arrêt ou la mise en train ; il peut servir de vanne et régler, suivant qu'on le lève plus ou moins, la dépense de la turbine en raison des variations de débit du cours d'eau ; mais, lorsque ce cylindre est incomplètement levé, les masses d'eau qu'il laisse pénétrer dans la couronne mobile, n'étant plus guidées en dessus, s'épanouissent et viennent frapper la face supérieure de cette roue, ce qui produit une perte de travail importante et diminue beaucoup le rendement ; ainsi, sur une turbine établie à Inval (Eure) par Fourneyron, le rendement s'abaissait de 71 à 49 0/0 lorsqu'on levait seulement le cylindre D de 0,091 m. au lieu de 0,345 m., valeur maxima de l'ouverture.

Dispositifs de Fourneyron et de Girard. — Fourneyron a fait disparaître en partie l'inconvénient que nous venons de signaler en partageant, dans sa hauteur, la couronne mobile en plusieurs compartiments, au moyen de cloisons horizontales fondues avec les aubes. Avec ce dispositif, le rendement n'est pas sensiblement altéré, pourvu que le bas de la vanne cylindrique coïncide avec l'une des cloisons horizontales ;

mais il est encore modifié lorsque le bas de la vanne occupe une position intermédiaire.

Vers 1850, un ingénieur français, nommé Girard, auquel on doit d'importants perfectionnements relatifs

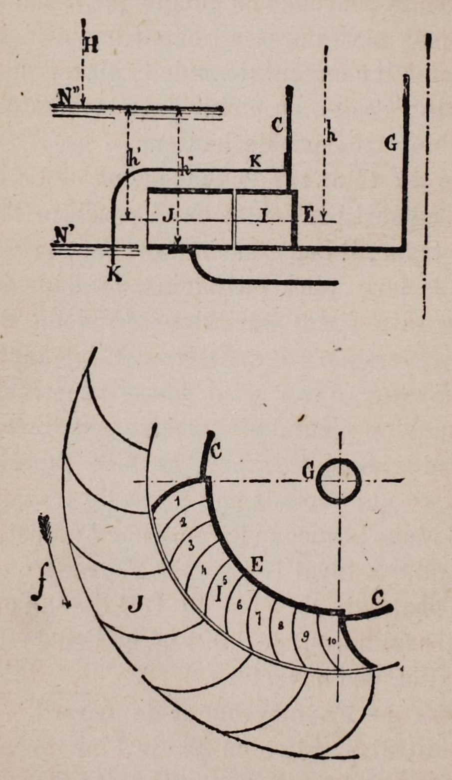


Fig. 16. — Vannage partiel de Girard.

aux turbines, imagina un *vannage partiel,* qui permet d'ouvrir un nombre de canaux variable avec le débit du cours d'eau. La couronne fixe I (fig. 16) est divisée en quatre secteurs égaux, dont deux seulement, opposés

par le sommet, portent des cloisons directrices; ces cloisons sont comprises. entre deux disques horizontaux venus de fonte, l'un avec le fourreau G, l'autre avec la cuve C. Les deux autres quadrants sont masqués par des cloisons cylindriques fixes, qui prolongent cette cuve. L'appareil est commandé par une vanne E, composée de deux bandes cylindriques diamétralement opposées, qui peuvent chacune recouvrir un quadrant; cette vanne, au lieu de se mouvoir verticalement, comme dans l'appareil décrit plus haut, tourne autour de l'axe G, et les deux parties dont elle est formée peuvent, ou bien fermer tous les canaux, ou bien les ouvrir successivement dans l'ordre indiqué par les numéros de la figure; ces deux pièces disparaissent alors derrière les deux quadrants non munis de directrices.

La vanne circulaire doit, pour démasquer les canaux, se mouvoir dans le sens de la flèche *f*, afin que, dans le dernier orifice, qui peut n'être ouvert qu'en partie, la veine liquide s'appuie sur la concavité de la directrice et prenne à la sortie la même direction que celles des ouvertures précédentes.

Ce dispositif permet de faire varier dans de grandes proportions le volume d'eau dépensé sans que le rendement soit notablement modifié; mais il supprime la moitié des canaux fixes, ce qui oblige, pour obtenir une dépense déterminée, à doubler la capacité et par conséquent à augmenter les dimensions de l'appareil. En outre, il ne permet pas d'immerger la roue mobile dans le bief d'aval, ce qui produit une perte de chute. En effet, la roue étant immergée, les canaux mobiles, en passant devant les deux quadrants non munis de

directrices, se remplissent de l'eau d'aval, qui y demeure en repos relatif, et, lorsqu'ils se présentent ensuite devant les canaux fixes, le liquide qui s'échappe de ces derniers, rencontrant l'eau en repos relatif, produit des chocs qui diminuent le rendement.

Hydropneumatisation. — Girard a évité ce dernier inconvénient par un artifice auquel il a donné le nom d'*hydropneumatisation.* La turbine est placée sous une cloche K, dans laquelle une petite pompe, mue par le moteur lui-même, refoule de l'air à une pression suffisante pour abaisser le niveau des eaux d'aval en N′ sous la cloche, tandis qu'il s'élève en N″ au dehors.

Il faut, avec ce dispositif, tenir compte de l'excès de la pression de l'air refoulé sur celle de l'atmosphère, excès qui est représenté par la colonne d'eau h''. L'appareil hydropneumatique empêche donc la diminution du rendement due à l'ouverture partielle du vannage, mais il produit en même temps une perte de charge, qu'il faut comparer avec cet avantage.

Modification du vannage partiel. — Quant à la suppression de la moitié des canaux fixes, nécessitée par le vannage partiel de Girard, on emploie souvent pour y remédier le système suivant. La couronne fixe est encore divisée en quatre secteurs égaux : les secteurs opposés sont identiques, mais les secteurs adjacents présentent des dispositions différentes, qui ont été représentées sur les deux parties de la fig. 17. L'un des quadrants I et celui qui lui est opposé présentent des canaux directeurs horizontaux, commandés par deux vannes circulaires telles que E ; les deux autres secteurs sont percés d'orifices I′ à double courbure,

que peuvent fermer deux autres vannes circulaires telles que E′. Lorsqu'on met l'appareil en train, les deux vannes E viennent se loger au-dessous des orifices I′ et les deux vannes E′ au-dessus des orifices I, de sorte qu'on peut ouvrir la couronne directrice sur toute sa périphérie. Il faut ajouter que cette disposition oblige à donner aux orifices I′ un grand développement, afin que leur double courbure ne communique pas au liquide de brusques changements de direction, et l'on augmente ainsi les pertes de charge dues aux

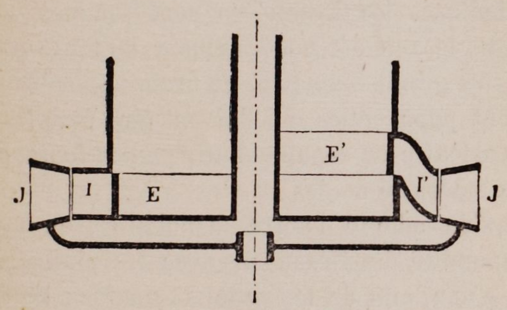


Fig. 17. — Modification du vannage partiel Girard.

frottements du liquide dans ces conduits. Ce système est donc avantageux plutôt au point de vue des frais de premier établissement qu'à celui du rendement.

Influence de la vitesse de rotation sur le débit. — L'expérience montre que le débit d'une turbine Fourneyron augmente avec sa vitesse de rotation v. Cette propriété n'est pas avantageuse. En effet, si la résistance des outils commandés par la turbine vient à augmenter, sa vitesse diminue et par suite sa puissance décroît aussi, tandis qu'elle devrait augmenter : réciproquement, la puissance augmente lorsque la

résistance des outils diminue. Pour corriger ce défaut, on est obligé d'employer un modérateur de vitesse, agissant sur le vannage.

Construction de la turbine Fourneyron. — On calcule ordinairement le rayon de la cuve C de telle sorte que la vitesse moyenne de l'eau dans cette partie de l'appareil ne dépasse pas 1 mètre ; cette quantité sera en même temps le rayon intérieur ou le rayon extérieur de la couronne fixe, suivant que l'on adoptera la disposition de la figure 16 ou celle de la figure 15. Dans ce dernier cas, les directrices sont fondues avec le plateau F ; le tout est généralement en fonte pour les turbines de grand diamètre, en bronze pour les petites et surtout pour celles qui doivent être établies dans une eau calcaire ou capable d'attaquer la fonte, comme les eaux salées ou acides.

Lorsqu'on adopte l'autre disposition, on fond un certain nombre de directrices avec les plateaux de la couronne fixe, afin de les relier ensemble ; les autres, qui sont rapportées ensuite, se font en tôle de fer ou d'acier ou bien en cuivre rouge ou en laiton, suivant la nature de l'eau. L'épaisseur des cloisons venues de fonte est généralement de 5 à 10 millimètres, celle des cloisons rapportées est de 2 à 3 millimètres.

La hauteur b de la couronne fixe se détermine d'après la vitesse choisie pour la turbine, c'est-à-dire suivant que l'on cherche à diminuer les frais d'établissement ou à obtenir le rendement maximum.

Le nombre des directrices varie de 40 à 80, suivant le rayon de la couronne. Le nombre des aubes est toujours inférieur ou au plus égal au premier ; il est ordinairement compris entre 30 et 60. Ces aubes sont

généralement fondues avec la couronne ; elles ont une épaisseur de 5 à 10 millimètres.

On donne ordinairement à la roue mobile, à sa partie intérieure, une hauteur supérieure de 5 millimètres à celle de la couronne fixe, afin que les veines liquides ne puissent pas, s'il y a un petit défaut de fabrication ou de montage, rencontrer l'une ou l'autre des deux joues de cette roue.

Turbine centrifuge à axe horizontal. — La turbine Fourneyron a été pour la première fois disposée sur un arbre horizontal par Canson, fabricant de papier français, et perfectionnée par Girard. Ainsi disposée, la turbine centrifuge ne comporte qu'un segment de couronne fixe, placé au-dessous de l'arbre, et qui reçoit l'eau motrice par un tuyau coudé ; pour les chutes peu élevées, ce tuyau est fixé directement sur la paroi d'une chambre d'eau, placée à la suite du bief d'amont ; pour les chutes très hautes, il communique avec ce bief par un tuyau cylindrique, dans lequel la vitesse moyenne ne doit pas dépasser 1 mètre par seconde.

Le segment de couronne fixe, qui comprend de $\frac{1}{8}$ à $\frac{1}{5}$ de la circonférence, est muni de cloisons directrices ; il est placé dans l'intérieur d'une roue mobile, présentant les mêmes dispositions que ci-dessus, et calée sur un arbre horizontal tournant dans des paliers ordinaires. L'admission de l'eau est commandée par une vanne circulaire de Girard, qui traverse une boîte à étoupes et reçoit le mouvement d'une crémaillère circulaire engrenant avec un pignon denté.

Cette turbine doit évidemment se trouver au-dessus du niveau d'aval ; elle ne pourrait être immergée que si elle recevait l'eau motrice sur toute sa circonfé-

rence ; on aurait d'ailleurs l'inconvénient d'avoir les paliers de l'arbre complètement sous l'eau.

Le rendement est sensiblement le même que pour la turbine à axe vertical.

Girard a aussi imaginé une turbine double, à axe horizontal ; les deux couronnes mobiles sont solidaires et fixées sur le même arbre, ce qui supprime le porte-à-faux ; elles sont alimentées par deux segments de couronnes fixes, placés de part et d'autre, et dont les injecteurs sont raccordés, par un tuyau en forme de *culotte*, avec le tuyau d'amenée de l'eau d'amont.

La suppression du porte-à-faux permet d'augmenter le diamètre de la turbine et par conséquent sa capacité. Les deux roues mobiles peuvent être actionnées par deux chutes de hauteur différente, pourvu qu'on trace leurs aubes de sorte qu'elles fassent le même nombre de tours par minute. Enfin, on peut construire les deux couronnes de façon qu'elles fassent tourner l'arbre dans deux sens différents.

CHAPITRE VII

LES TURBINES CENTRIPÈTES

Principe de la turbine centripète. — Rendement ; influence du débit, de la vitesse de rotation. — Construction. — Turbines américaines. — Turbine Vortex. — Turbine centripète à axe horizontal.

Principe de la turbine centripète. — Le canal d'amont peut se terminer par une chambre d'eau A et une cloison de retenue B. La couronne fixe F (fig. 18), munie de directrices I, est fixée sur le fond de la chambre A. La roue mobile J, munie d'aubes L, est fixée à un plateau ayant son moyeu calé sur un arbre vertical ; elle est isolée de l'eau d'amont par une enveloppe ou couvercle M, portant en son centre une boîte à étoupes pour le passage de l'arbre. Une vanne cylindrique D, passant entre les deux couronnes, sert pour la mise en train et l'arrêt, ainsi que pour le réglage du débit.

L'eau s'échappe de la couronne fixe avec une vitesse absolue V, dirigée suivant le dernier élément a des directrices. En passant dans la roue mobile, elle prend une vitesse relative w, qui est la résultante de V et d'une vitesse égale et contraire à celle v de cette roue ; le premier élément des aubes L doit être tangent à la vitesse w, afin que le liquide entre sans choc. Enfin le liquide s'échappe au centre avec une vitesse V', résultante de sa vitesse relative w' et de la vitesse linéaire v' de la roue. Comme pour la turbine

centrifuge, la vitesse V′ doit être aussi faible que possible.

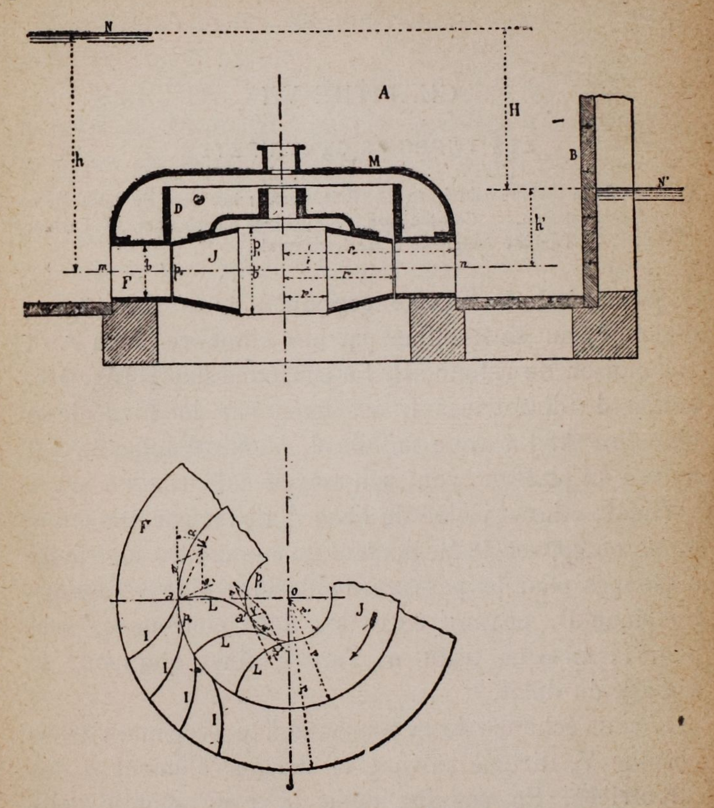


Fig. 18. — Principes de la turbine centripète, coupe verticale et coupe horizontale.

Comme la turbine centrifuge, la turbine centripète doit être plongée dans l'eau d'aval ; s'il n'en est pas ainsi, la perte de chute est la même.

Rendement ; influence du débit. — Le rendement est le même que celui de la turbine centrifuge. Il aug-

mente encore lorsqu'on diminue l'angle α des vitesses Vv ou l'angle β, que fait la vitesse relative w' avec le prolongement de v'.

Si l'on ouvre incomplètement la valve cylindrique D, qui règle la dépense, les conséquences sont les mêmes que pour la turbine centrifuge ; on pourrait encore y remédier en divisant les intervalles des aubes en plusieurs compartiments par des cloisons horizontales. Lorsque la turbine n'est pas immergée dans l'eau d'aval, ou qu'elle est munie d'un appareil hydropneumatique, on peut lui appliquer le vannage partiel de Girard (fig. 16) ou le dispositif de la figure 17.

Influence de la vitesse de rotation. — Contrairement à ce qui a lieu pour la turbine centrifuge, la vitesse relative w' et la dépense diminuent, lorsque la vitesse de rotation augmente par suite d'une diminution de résistance des outils qu'elle commande ; le travail moteur fourni par l'appareil éprouve donc aussi une réduction. Réciproquement, un accroissement de résistance produit une diminution de la vitesse et une augmentation du travail moteur. C'est là un avantage de la turbine centripète.

Construction. — Les règles à appliquer sont les mêmes que pour la turbine centrifuge. On prend généralement le rapport $\frac{r_0}{r}$ entre 1,15 et 1,25 et le rapport $\frac{r}{r'}$ entre 1,5 et 2 (fig. 18).

Turbines américaines. — Un certain nombre de constructeurs, surtout en Amérique, ont modifié la construction de la turbine centripète, trés répandue dans ce pays. Le calcul montrant que le rendement théorique est indépendant de la vitesse, ces constructeurs

ne cherchent pas à diminuer l'angle β, comme nous l'avons indiqué plus haut ; ils lui donnent une valeur voisine de 90° et font tourner la turbine avec une grande vitesse. Dans ces conditions, on est obligé de donner aux aubes et aux directrices des formes différeutes de celles qui sont adoptées en France et que représente la fig. 18 ; les directrices sont généralement rectilignes ; il est douteux qu'on puisse dans ces conditions obtenir un rendement très élevé.

Turbine Vortex. — Cette turbine (fig. 19) présente des dispositions intéressantes ; elle convient surtout aux chutes faibles avec grand débit, et doit être complètement noyée dans l'eau d'aval ; elle se construit simple ou double, Le second modèle comprend deux roues identiques superposées et l'eau s'échappe au centre, à la fois au-dessus et au-dessous de l'appareil, tandis que, dans l'autre type, elle sort seulement par la partie inférieure. A est la roue mobile, clavetée sur l'arbre C ; les directrices, telles que B, sont au nombre de quatre ou davantage ; elles peuvent être fixes ou mobiles. Les directrices fixes s'emploient pour les chutes où le débit est régulier ; elles sont réglées une fois pour toutes suivant la valeur de ce débit. La seconde disposition sert pour les débits variables ; le mécanisme se compose de 4 leviers accouplés D E, commandés simultanément par un volant à main.

Les aubes, dont la forme est indiquée par la fig. 21, sont en fer forgé. L'appareil est recouvert d'une enveloppe en fonte, bien étanche, servant de chambre d'eau. Le liquide arrive par le tube I. Le pivot, qui est la seule partie sujette à usure, est construit en

lignum vitae, et placé sur un grain d'acier dont la

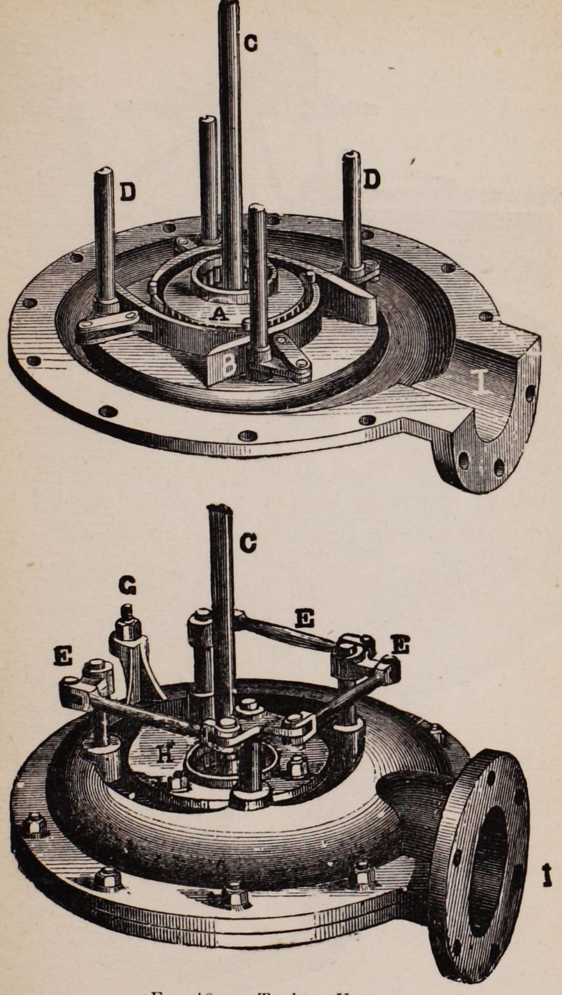


Fig. 19. — Turbine Vortex.

hauteur se règle, sans même arrêter la turbine, au moyen d'un levier qui dépasse le niveau d'aval.

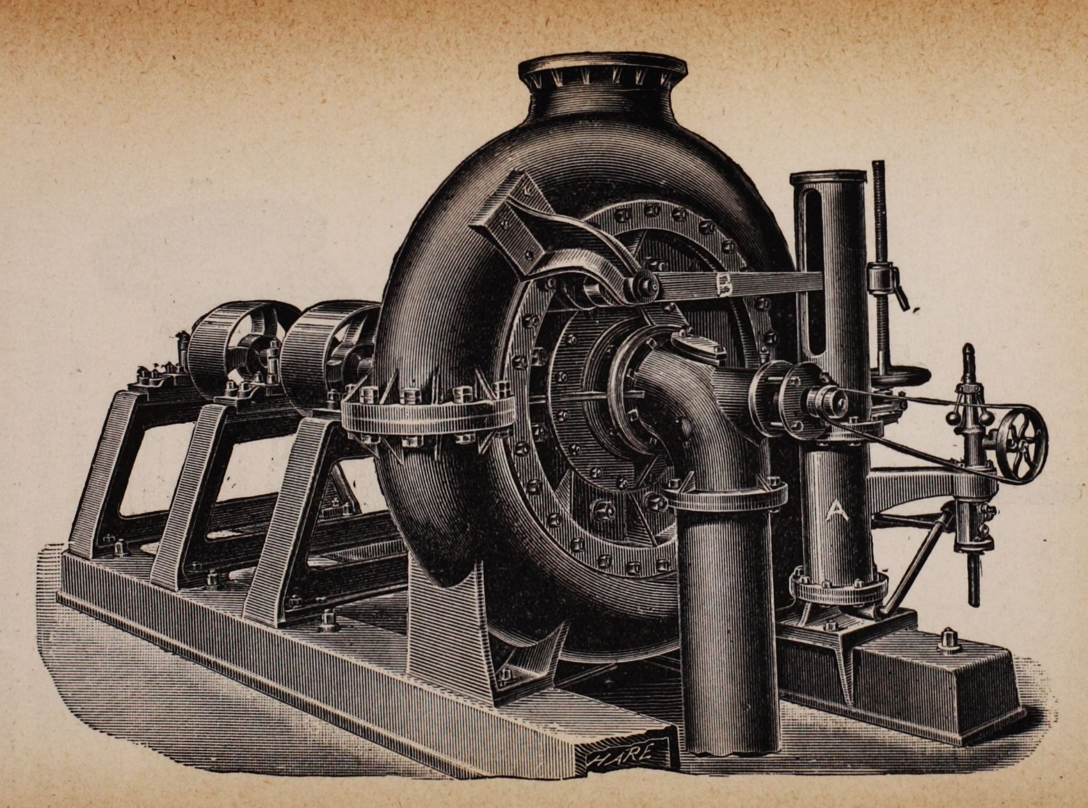


Fig. 20. — Turbine Vortex de 300 chevaux, montée sur un arbre horizontal.

La turbine simple se monte dans une chambre à eau, placée bien au-dessus du niveau d'aval, et la décharge s'effectue par un tuyau de succion.

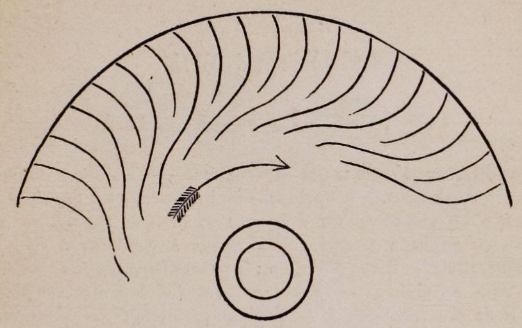


Fig. 21. — Turbine Vortex, forme des aubes.

Turbine centripète à axe horizontal. — La turbine centripète peut être montée sur un arbre horizontal. La couronne fixe est généralement complète et reçoit l'eau sur tout son pourtour, au moyen d'une enveloppe en spirale dont la section va en décroissant, à mesure qu'elle alimente les canaux directeurs.

La fig. 20 montre une turbine Vortex ainsi disposée; c'est un modèle de 300 chevaux, destiné à une chute d'environ 90 mètres. On voit en avant l'un des tuyaux de succion, et à droite un régulateur hydraulique automatique. Ce régulateur intervient lorsque, par suite de la crue ou de la baisse des eaux, le liquide est chassé du cylindre A ou y est admis. Dans ce cylindre se meut un piston, qui s'attache au levier B, commandant les directrices, et qui le fait monter ou descendre, de manière à ouvrir plus ou moins les canaux directeurs et à régulariser le débit.

CHAPITRE VIII

LES TURBINES PARALLÈLES

Turbine parallèle ou à couronnes superposées. — Théorie : influence du débit sur le rendement. — Turbine non immergée. — Turbine Jonval. — Influence des variations du débit sur la turbine Jonval. — Turbine parallèle avec vannage partiel. — Vannage à papillon, à rouleaux. — Turbine parallèle à libre déviation : hydropneumatisation. — Turbine installée dans un siphon. — Turbine parallèle alimentée seulement sur une partie de sa circonférence. — Turbine parallèle à axe horizontal.

Turbine parallèle ou à couronnes superposées. — Dans cet appareil, les deux couronnes sont superposées, de sorte que l'eau se meut dans un plan parallèle à l'axe et non plus dans un plan perpendiculaire, comme cela avait lieu dans les modèles précédents.

La couronne fixe F (fig. 22), munie de cloisons directrices I, est boulonnée sur le fond d'une chambre d'eau A, qui termine le canal d'amenée et qui est fermée par une cloison de retenue B. La couronne mobile J, munie d'aubes équidistantes L, est placée au-dessous de la couronne fixe F ; elle est calée, au moyen d'un croisillon et d'un moyeu, sur un arbre creux en fonte G, qui tourne sur un arbre central fixe J, en fer forgé, et transmet le mouvement à l'usine. L'arbre G peut traverser une boîte à étoupes, fixée sur le moyeu de la couronne fixe, ou être entouré d'une enveloppe creuse, afin d'empêcher le passage de l'eau d'amont.

La couronne directrice est munie de vannes verti-

cales D, qui se manœuvrent simultanément au moyen des tiges t, du cercle C, des tiges filetées E et de la roue dentée m.

Fig 121. — Coupe verticale.

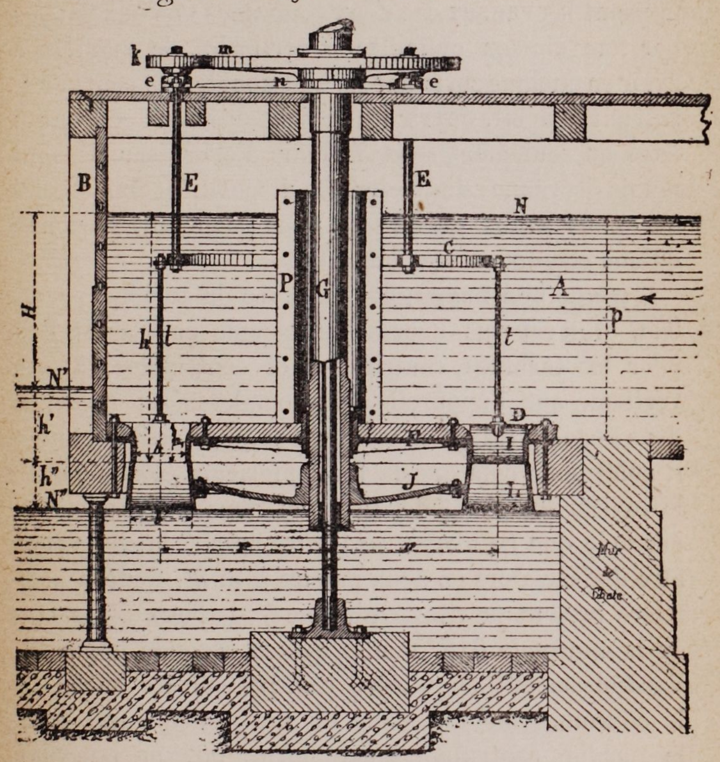


Fig. 22. — Turbine parallèle.

Théorie ; influence du débit sur le rendement. — La théorie de cette turbine est analogue à celle des précédentes ; l'avantage est encore ici pour les appareils à petite vitesse. Le rendement pratique est le même que pour la turbine centrifuge.

Lorsque l'abaissement du débit oblige à fermer partiellement les vannes D, il se produit encore une diminution du rendement. Fontaine, et d'autres constructeurs après lui, ont remédié incomplètement à ce défaut en divisant les canaux des deux couronnes en deux parties par une cloison cylindrique verticale, de manière à avoir en quelque sorte une turbine double. On peut alors, suivant le débit, ouvrir les orifices des deux couronnes fixes ou seulement ceux de l'une d'elles, car ils sont munis de vannes distinctes. Ce dispositif, comme celui que nous avons décrit plus haut (page 55), ne donne qu'une correction très imparfaite.

Turbine non immergée. — Avec la turbine parallèle, il n'est pas nécessaire, comme cela avait lieu pour les turbines centrifuges et centripètes, à axe vertical, que l'appareil soit complètement immergé dans l'eau d'aval, pour utiliser complètement la chute ; il suffit pour cela que la face inférieure coïncide avec le niveau du canal de fuite ; si nous supposons par exemple que ce niveau se trouve en N'', la chute peut être divisée alors en deux parties h et h', dont la première produit la vitesse absolue V de l'eau à la sortie de la couronne fixe, tandis que la seconde engendre l'accroissement de vitesse relative sur les aubes de la couronne mobile. C'est ce qui a lieu aussi pour la turbine centrifuge à axe horizontal, ne recevant l'eau que sur une portion de sa circonférence.

Dans ce cas, il y a intérêt, pour une même hauteur de chute H, à diminuer la hauteur h'' de la roue mobile, car on augmente ainsi le rendement.

Turbine Jonval. — Jonval a imaginé d'installer la turbine parallèle, non plus au-dessous du niveau d'aval,

mais en un point intermédiaire entre ce niveau et celui d'amont. La disposition des organes est conservée, mais on établit, au fond de la chambre d'eau qui termine le canal d'amenée, un tuyau circulaire vertical, qui se recourbe horonzitalement pour déboucher dans le bief d'aval, au-dessous du niveau du liquide. La couronne fixe de la turbine est placée, soit au fond même de la chambre d'eau, soit à une certaine profondeur dans le tuyau; la crapaudine, dans laquelle tourne l'arbre de la roue mobile, est portée par une traverse fixée à la paroi intérieure du tuyau. Une vanne verticale, placée près de l'ouverture inférieure de ce tuyau, sert pour la mise en marche et l'arrêt, ainsi que pour le réglage de la dépense, lorsque le débit est variable.

Cette disposition facilite beaucoup la visite et les réparations de l'appareil, qui se font par un trou d'homme ménagé dans la paroi du tuyau, un peu au-dessous de la couronne mobile; il suffit de fermer une vanne de garde, placée à l'entrée de la chambre d'eau, et d'ouvrir la vanne inférieure pour faire écouler le liquide dans le canal de fuite. Au contraire, lorsque la turbine fonctionne immergée, on ne peut accéder à la couronne mobile, au pivot et à la crapaudine, fixés sur le radier du canal de fuite, qu'en épuisant ce dernier.

Pour que la turbine Jonval utilise toute la hauteur de la chute sur laquelle elle est installée, il faut que l'orifice inférieur du tuyau soit toujours complètement immergé; s'il n'en était pas ainsi, la colonne d'eau se romprait dans le tuyau et l'on perdrait toute la hauteur de chute comprise au-dessous de la turbine, qui fonctionnerait alors comme une turbine Fontaine non im-

mergée. Cependant la perte de chute est nulle, si la rupture de la colonne d'eau se fait juste dans le plan de la face inférieure de la roue mobile.

Il est évident que la turbine ne doit pas se trouver à plus de 10,33 m. au-dessus du niveau d'aval, hauteur qui correspond à la pression atmosphérique ; en réalité cette hauteur ne doit jamais être atteinte ; on doit même installer la turbine d'autant plus bas que le diamètre de la colonne de descente est plus grand. Cette hauteur maximum, qui peut être de 8 à 8,50 m. pour un tuyau de 0,5 m. de diamètre, doit se réduire jusqu'à 4 et 3 mètres, pour des tubes de 2 et 3 mètres.

Influence des variations du débit sur le rendement de la turbine Jonval. — La dépense est réglée, comme nous l'avons dit, par une vanne verticale placée à la sortie du tuyau de succion et qui peut se mouvoir verticalement ou tourner autour d'un axe vertical ou horizontal (papillon). L'expérience montre que le rendement décroît rapidement lorsqu'on ferme en partie cette vanne.

Kœchlin a remédié en partie à cet inconvénient en plaçant, entre les cloisons directrices, des coins obturateurs destinés à rétrécir la largeur des orifices pour réduire le débit, la vanne de sortie ne servant plus que pour l'arrêt et la mise en marche. Il a aussi proposé d'employer, sur les cours d'eau à débit variable, deux ou trois turbines, et d'en faire fonctionner une, deux ou trois, suivant l'importance du débit. Cette solution est encore incomplète, comme la précédente, et de plus elle est très coûteuse.

Turbine parallèle avec vannage partiel. — Callon et fils ont cherché les premiers à remédier complètement

à l'influence des variations de la dépense sur le rendement de la turbine parallèle.

Girard a imaginé divers systèmes : l'un consiste dans l'emploi de vannes horizontales ou vannes-tiroirs, placées au-dessus de la couronne fixe et qui s'ouvrent radialement, en s'éloignant du centre. Chacune de ces vannes recouvre un petit nombre de canaux directeurs (5, 6 ou 8, suivant les cas). On doit toujours ouvrir de suite deux vannes diamétralement opposées ; mais, comme chaque vanne doit toujours être complètement ouverte ou tout à fait fermée, on ne peut faire varier la dépense que d'une manière discontinue, par exemple par huitièmes, dixièmes ou douzièmes, s'il y a 8, 10 ou 12 vannes.

Ce dispositif est simple et peu coûteux, mais insuffisant. Il est préférable de faire fonctionner successivement les vannettes verticales dont nous avons parlé plus haut (fig. 22). Cette manœuvre s'effectue au moyen d'une couronne horizontale, placée au-dessus du plancher de l'usine, et à laquelle il suffit de faire subir une demi-rotation, dans un sens ou dans l'autre, pour ouvrir ou fermer complètement l'appareil. Les deux vannettes opposées sont associées ensemble. Quand on n'ouvre l'appareil que partiellement, il y a au plus deux des canaux directeurs incomplètement ouverts.

Vannage à papillon. — Le vannage à *papillon double,* de Girard, se compose de deux vannes circulaires horizontales, recouvrant chacune un quart de la couronne directrice. Les deux autres quarts, diamétralement opposés, sont pleins et dépourvus de canaux directeurs ; ils reçoivent les ailes du papillon,

lorsqu'il est complètement ouvert. Comme pour la turbine centrifuge (page 56), le papillon doit découvrir les orifices de la couronne fixe en tournant dans le même sens que la turbine. De plus, les deux ailes peuvent fonctionner séparément ; cette disposition permet, lorsqu'on ne doit ouvrir qu'un petit nombre de canaux, de les choisir tous du même côté, ce qui est préférable.

La figure 23 montre une turbine munie de ce mode de vannage et disposée pour une chute de 2 mètres, à petit volume, avec niveau d'aval constant ; elle est fixée à la partie inférieure d'une chambre d'eau ouverte. Elle donne une puissance de 3 chevaux.

Ce mode de vannage a l'inconvénient de n'utiliser que la moitié de la turbine ; il faut donc donner à l'appareil une capacité double de celle qu'il aurait, s'il était alimenté sur tout son pourtour.

On a cherché à faire disparaître ce défaut par un dispositif analogue à celui de la figure 17. Les mêmes observations peuvent s'appliquer.

Girard a employé dans le même but les vannes-tiroirs combinées avec le papillon. La couronne directrice est divisée par exemple en 12 parties ; dix de ces parties sont munies de vannes-tiroirs et la onzième d'un papillon ; la douzième ne s'ouvre pas et reçoit le papillon lorsqu'il est ouvert. Le papillon doit se trouver à côté de la vanne qui s'ouvre la première. Pour éviter qu'il reste une partie ne s'ouvrant pas, on peut munir les 12 parties de onze vannes et d'un papillon ; le papillon, en s'ouvrant, vient se placer sur la dernière vanne, non encore ouverte, et qui l'entraîne avec elle en s'ouvrant.

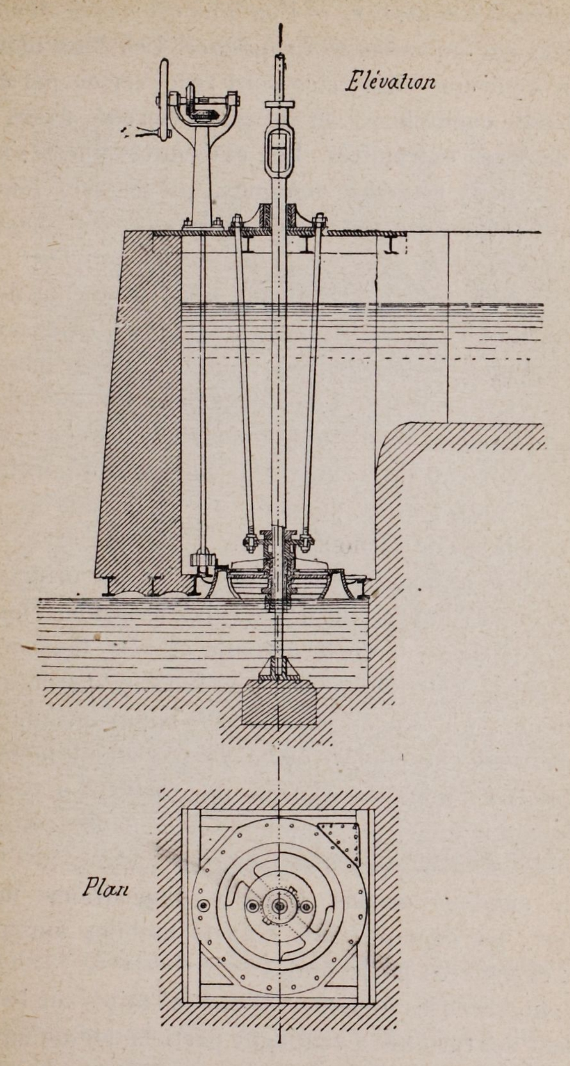


Fig. 23. — Turbine parallèle avec vannage à papillon.
(D'après une photographie communiquée par M. P. Darblay.)

Vannage à rouleaux. — Fontaine est arrivé au même résultat par un vannage *à rouleaux*. Les deux moitiés de la couronne directrice sont recouvertes par deux bandes de caoutchouc ou de gutta-percha, fixées par une de leurs extrémités. Les extrémités libres s'attachent à deux rouleaux coniques, qui peuvent tourner sur eux-mêmes, en même temps qu'autour de l'axe de la turbine.

Pour cela, les deux rouleaux sont fixés à un demi-cercle denté, engrenant avec un pignon calé sur un arbre vertical, qui commande un engrenage placé à la partie supérieure. Le mouvement du mécanisme enroule les deux bandes autour des rouleaux et découvre successivement les orifices ; il ne reste d'inutilisées que les deux petites portions où se logent les rouleaux, à la fin de la manœuvre.

M. Page a imaginé de faire varier les orifices de sortie de la roue mobile. Pour cela, le dernier élément rectiligne des aubes est articulé et peut tourner sur deux petits tourillons, taraudés dans les parois de la couronne ; un anneau extérieur, s'appuyant sur tous ces éléments, les soulève ou les abaisse simultanément, ce qui fait varier les orifices de sortie. Ce système ingénieux manque de simplicité et peut offrir des inconvénients avec certaines eaux.

On emploie encore d'autres dispositions moins bonnes, par exemple, des clapets mobiles autour de deux charnières horizontales.

De nombreuses expériences ont été faites sur le rendement des turbines à vannages partiels, lorsqu'un certain nombre seulement des orifices sont ouverts ; elles ont montré notamment qu'il y a avantage à faire tour-

ner dans l'air et non dans l'eau les appareils qui sont alimentés seulement sur une partie de leur circonférence.

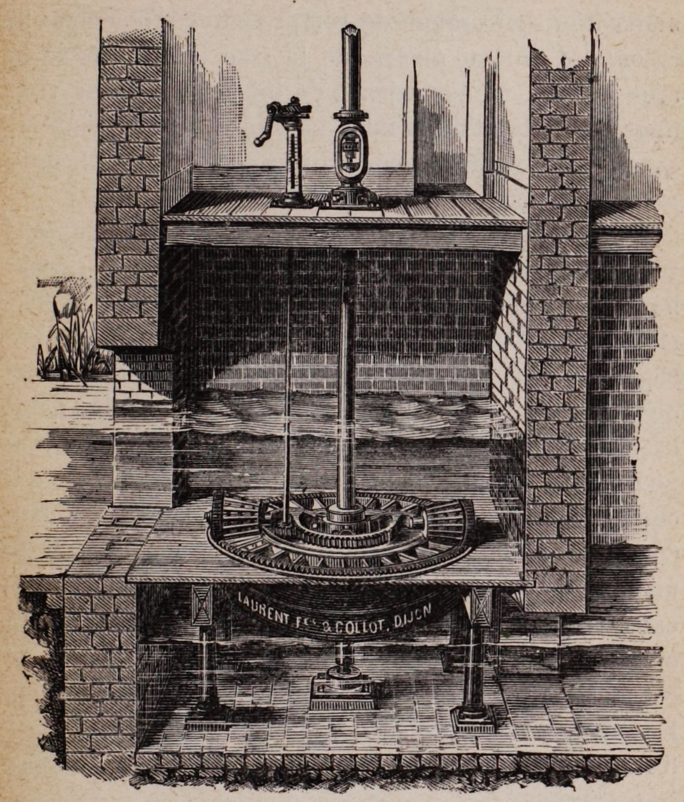


Fig. 24. — Vannage à rouleaux.

Turbine parallèle à libre déviation; hydropneumatisation. — La turbine parallèle peut marcher à libre déviation, ce qui offre les mêmes avantages que pour la turbine centrifuge ; mais il faut pour cela que la couronne mobile tourne dans l'air. Girard a employé

pour la turbine parallèle un appareil hydropneumatique semblable à celui que nous avons décrit plus haut.

M. Emile Meunier a appliqué à la turbine Jonval une disposition qui permet de rompre automatiquement la colonne d'eau au niveau de la face inférieure de la roue mobile, ce qui permet de lui appliquer les vannages partiels et de la faire marcher à libre déviation, quelle que soit la hauteur du niveau d'aval. M. Léauté a imaginé aussi un appareil analogue.

Turbine installée dans un siphon. — Il importe qu'il y ait toujours, au-dessus de la couronne fixe, une hauteur d'eau de 1 mètre au moins, afin d'éviter la formation de tourbillons, qui entraînent l'air atmosphérique dans les canaux directeurs et produisent ainsi des perturbations, causant une réduction du débit et du rendement. Il peut arriver que cette condition ne soit pas remplie, même pour les basses chutes, qui correspondent généralement à un grand volume d'eau. On est alors obligé de placer la turbine au-dessous du niveau de l'étiage, et, comme dans la saison des basses eaux elle n'est alimentée que sur une portion de sa circonférence, à cause de la diminution du débit, on est forcé de recourir à l'air comprimé pour la dénoyer. En outre, cette disposition de la turbine oblige à creuser davantage le canal de fuite et nécessite des travaux importants.

Girard a fait disparaître cet inconvénient en plaçant la turbine à la sortie d'un siphon, qui part du bief d'amont, s'élève au-dessus du niveau de ce bief et redescend à la couronne fixe. On peut ainsi éviter les tourbillons et placer cependant la face inférieure de la couronne mobile au niveau de l'étiage, ce qui rend

inutile l'emploi de l'air comprimé. On amorce le siphon au moyen d'une petite pompe, qui s'adapte au point le plus élevé du siphon.

Cette disposition s'applique aussi bien à la turbine centrifuge.

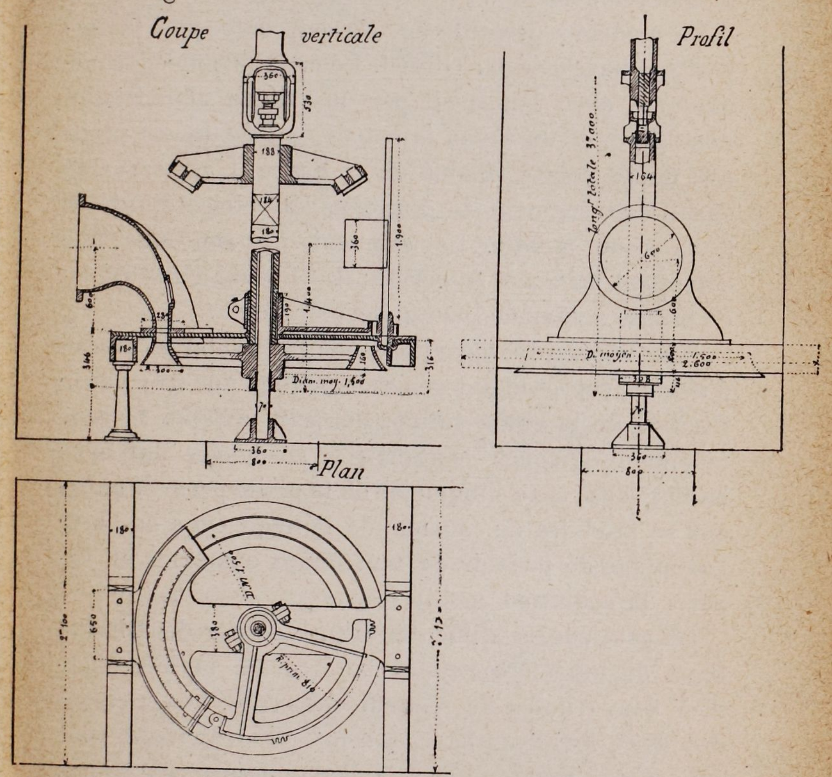


Fig. 25. — Turbine parallèle alimentée seulement sur une portion de sa circonférence. (D'après une photographie communiquée par M. P. Darblay.)

Turbine parallèle alimentée seulement sur une partie de sa circonférence. — Pour les très hautes chutes et les faibles débits, il est préférable de n'alimenter la

turbine que sur une portion de sa circonférence. Les orifices sont alors plus grands et moins faciles à obstruer ; de plus, on peut augmenter le diamètre du récepteur, de façon à diminuer la vitesse et à rendre le fonctionnement du pivot moins délicat.

Le modèle représenté fig. 25 est conforme à la disposition imaginée par Girard. Le canal d'amenée communique avec l'appareil par un tuyau cylindrique, non figuré, et un tuyau injecteur, qui est tantôt vertical, tantôt coudé, comme sur la figure. L'eau traverse ensuite un segment de couronne directrice et arrive à la roue mobile. Le segment de couronne fixe comprend un quart de cercle ; il est muni d'une vanne en bronze actionnée par un secteur denté.

Dans ce cas, les variations que peut subir le niveau d'aval ne représentant généralement qu'une très petite fraction de la chute totale, on peut installer la roue mobile à quelques centimètres au-dessus des plus hautes eaux, sans s'inquiéter de la petite perte de chute qui se produira au moment de l'étiage. On a en outre l'avantage de pouvoir en tout temps examiner et réparer la couronne mobile.

On peut encore alimenter la turbine par deux injecteurs disposés symétriquement, ce qui permet d'utiliser deux chutes de hauteur différente. Les cloisons des deux segments fixes doivent être calculées pour donner à la roue mobile la même vitesse v, et à l'eau une vitesse relative w de même direction.

Turbine parallèle à axe horizontal. — La turbine parallèle peut être aussi montée sur un axe horizontal ; elle peut alors recevoir l'eau, soit sur tout son pourtour, soit seulement sur une partie de sa circonférence,

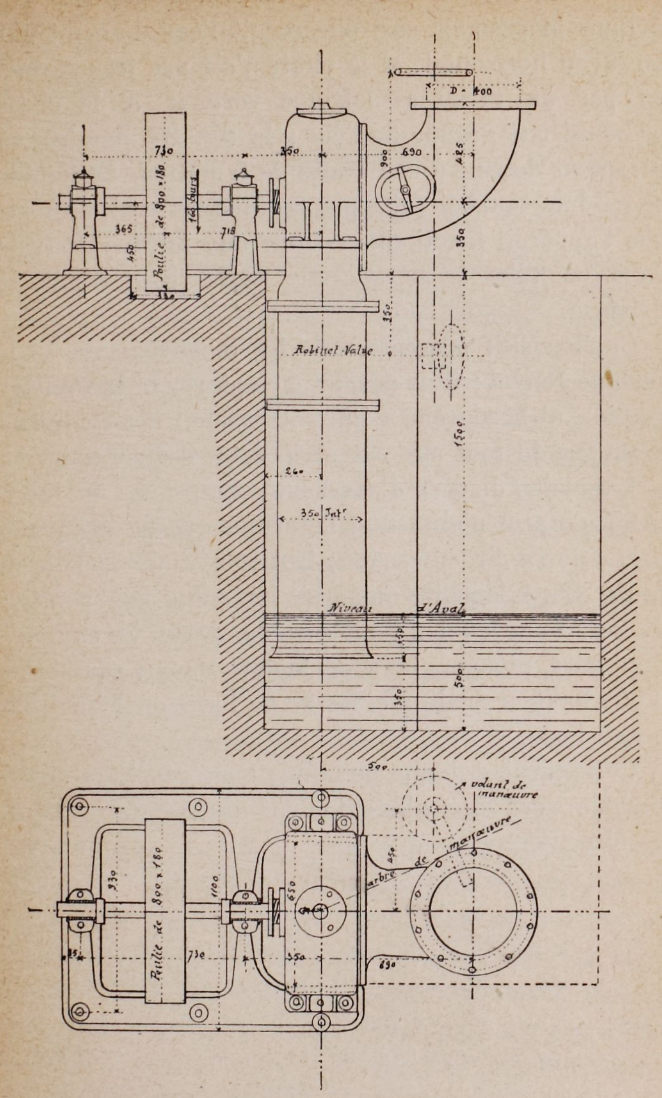


FIG. 26. — Turbine parallèle à axe horizontal.
(D'après une photographie communiquée par M. P. Darblay.)

Dans le premier cas, elle reçoit l'eau d'amont par un tuyau horizontal, si la chute n'est pas très élevée, ou par un tuyau cylindrique vertical, si la chute présente une grande hauteur ; la fig. 26 montre un récepteur destiné à une chute de 5 mètres. Le liquide se rend au canal de fuite par un tube vertical, de sorte que l'appareil fonctionne comme une turbine Jonval ; dans ce tube se trouve une valve pour régler la dépense.

Ce dispositif présente tous les inconvénients de la turbine Jonval ; il ne permet d'employer ni le vannage partiel, ni la marche à libre déviation ; il ne convient donc pas du tout aux cas où le débit est variable.

Lorsqu'on dispose d'une haute chute avec un faible débit, on peut n'alimenter la turbine que sur une petite partie de sa circonférence ; la disposition est celle de la fig. 25, à laquelle on aurait fait subir une rotation de 90°. Pour qu'il n'y ait pas de perte de chute, il faut faire plonger la roue mobile dans l'eau d'aval d'une hauteur égale à la flèche de l'arc sur lequel elle reçoit l'eau.

Cette turbine donne de moins bons résultats que la turbine centrifuge alimentée sur une petite partie de sa circonférence.

CHAPITRE IX

LES TURBINES MIXTES

Turbine mixte. — Turbines américaines. — Turbine Brault, Teisset et Gillet. — Turbine normale. — Turbine Hercule. — Turbine Leffel. — Turbine Bookwalter et Tyler. — Turbine New-American.

Turbines mixtes. — On donne ce nom à des récepteurs qui participent à la fois de la turbine parallèle et de la turbine centrifuge ou de la turbine centripète. En réalité, en Amérique, où ces appareils sont très répandus, on n'utilise que la dernière combinaison, la turbine centripète parallèle.

La couronne mobile reçoit donc l'eau par la partie extérieure ; le liquide est d'abord dirigé vers l'axe de rotation, puis il change peu à peu de direction et s'échappe parallèlement à cet axe.

Cet appareil mixte présente sur la turbine centrifuge l'avantage que nous avons déjà indiqué à propos de la turbine centripète ; comme la turbine parallèle, il peut utiliser toute la chute sans être plongé dans l'eau d'aval, car il peut être disposé comme la turbine Jonval. Il peut se monter sur un axe vertical ou sur un axe horizontal ; il peut d'ailleurs recevoir les vannages partiels et la disposition hydropneumatique ; mais il est d'une construction plus compliquée que la turbine parallèle. Le rendement pratique n'est pas supérieur à celui des autres types.

Turbines américaines. — Il n'existe aucun pays où

les turbines soient plus employées qu'aux États-Unis, où elles utilisent une puissance totale d'au moins 1 200 000 chevaux ; certaines installations ont une importance considérable : telles sont celles de Portland (12 000 chevaux), de Holyhoke (20 000 chevaux), du Niagara (250 000 chevaux). Ces applications de la puissance hydraulique constituent pour l'industrie américaine une très grande économie, car la puissance développée équivaut à une dépense annuelle d'au moins 4 millions de tonnes de houille.

Presque toutes les turbines américaines sont du type mixte et à réaction ; nous en décrirons quelques-unes parmi les plus connues ou les plus récentes ; d'ailleurs un certain nombre de modèles se construisent maintenant en France.

On prête souvent aux turbines américaines des rendements supérieurs à ceux des meilleurs modèles européens ; aucune raison théorique n'expliquant cette supériorité, il est probable qu'on doit l'attribuer à des divergences dans la manière d'évaluer le débit.

« En réalité, ces turbines l'emportent souvent sur les nôtres par leur bon marché d'achat et d'établissement, la facilité de leur installation, qui tient en principe à l'emploi du type centripète. Leurs aubes, plus hautes et moins nombreuses, permettent d'en augmenter le débit et la vitesse, ou l'énergie, à poids et à prix égal, avec un diamètre et un encombrement moindres. Leurs vannages, par aubes directrices mobiles ou par tambour, sont généralement bien étudiés, notamment celui de la turbine Hercule (G. Richard)[1]. »

1. G. Richard, *La mécanique générale américaine à l'Exposition de Chicago*. Paris, 1896. J.-B. Baillière.

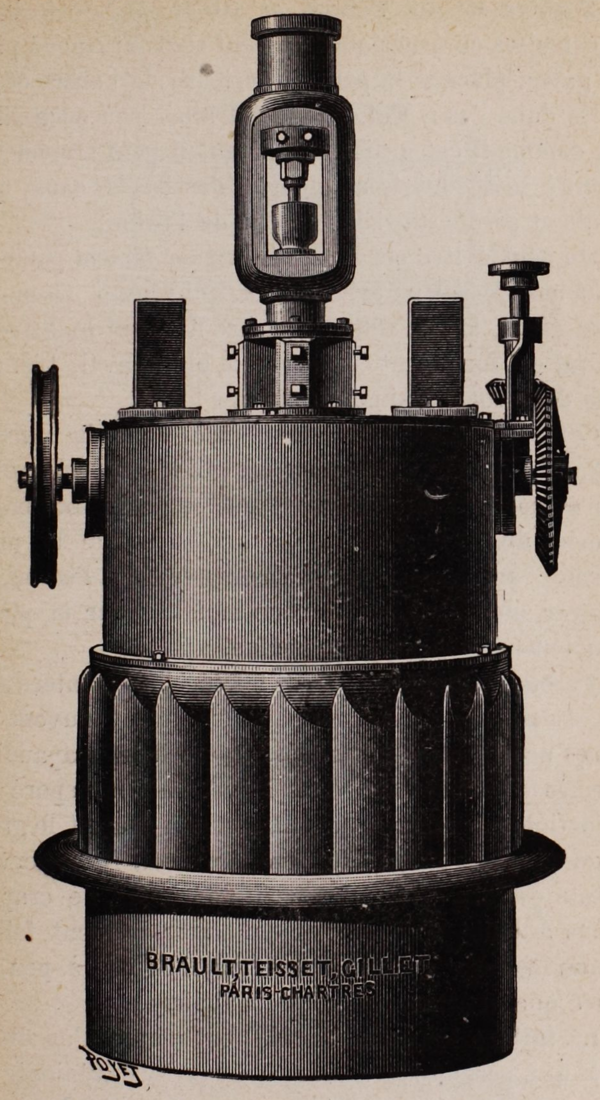


Fig. 27. — Turbine américaine à pivot hors de l'eau.

Turbine Brault, Teisset et Gillet. — Les turbines construites en Amérique reposent souvent sur un pivot en gaïac, placé à la partie inférieure de l'arbre et par suite dans l'eau. Cet organe est ainsi peu accessible, et, comme il est graissé par l'eau, il peut arriver, s'il vient à se découvrir au moment des basses eaux, qu'il brûle et arrête ainsi la marche de l'usine.

On peut éviter cet inconvénient en faisant porter la roue mobile par un arbre creux, qui repose, au moyen d'un pivot, sur la tête d'un arbre fixe qui le traverse et qui est fortement établi sur le bief d'aval. L'entretien du pivot est ainsi rendu très facile.

Cette disposition est appliquée dans la turbine (fig. 27), dont l'arbre creux est guidé en deux points sur sa colonne intérieure, ce qui empêche tout balancement de l'appareil; la vis qui surmonte le pivot permet, au moyen de la manœuvre de l'écrou, de relever ou d'abaisser la roue mobile, pour la placer exactement à la hauteur voulue.

Turbine Normale. — Pour les turbines montées avec pivot dans l'eau, les Américains emploient souvent une large pointe en métal reposant sur une crapaudine, formée d'un bois dur, dans lequel on a incorporé par injection une matière lubrifiante, qui fournit le graissage nécessaire au frottement du pivot. Ils se servent même parfois, pour les grandes turbines, de crapaudines à huile d'un frottement excessivement faible. Cependant ces pivots s'usent toujours peu à peu, de sorte que la couronne mobile s'abaisse.

La turbine Normale (fig. 28) est munie d'un dispositif qui permet de remédier à cet inconvénient. La crapaudine en bois dur A se trouve ajustée dans une

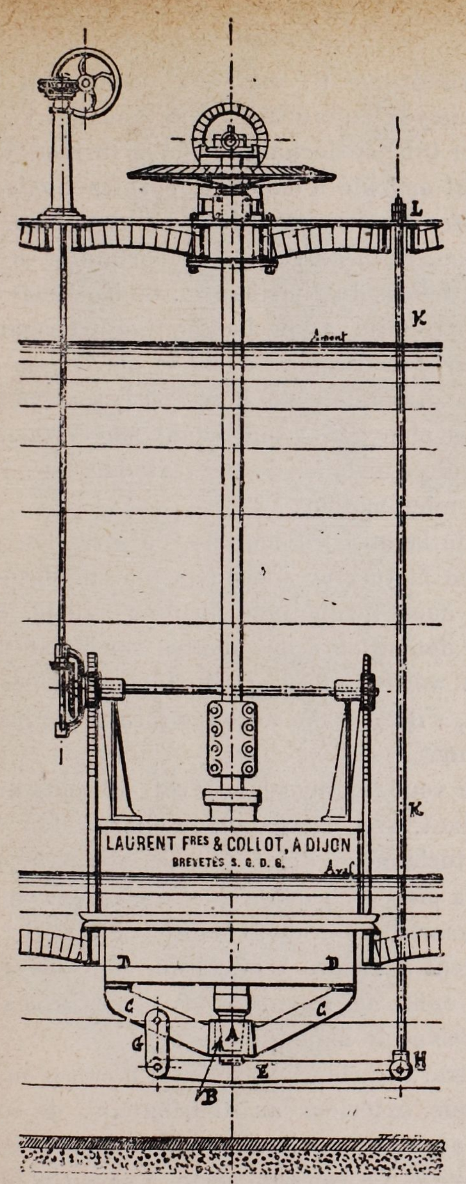


Fig. 28. — Turbine Normale.

pièce cylindrique B, en métal, coulissant sans jeu dans le moyeu du croisillon à 4 branches C, qui fait partie du tube de décharge D de la turbine. Un balancier E est articulé d'un bout, par les bielles G G, à un tourillon traversant un bras du croisillon C ; il vient passer sous la pièce B en la supportant et se prolonge en H en dehors du distributeur. Ce balancier est relié, à cette extrémité, à une longue tige K formant chape, qui traverse la chambre d'eau et aboutit au plancher de l'usine. Là, elle porte un écrou L reposant sur une poutre du plancher et supportant par conséquent tout le poids de la turbine, de ses verticaux et de l'engrenage premier moteur.

Lors de la mise en marche, on serre l'écrou L de façon que la turbine tourne juste, sans bruitde frottement, dans l'emboîtage du distributeur. Si, à un moment donné, on a des doutes sur l'état du pivot, on peut vérifier l'usure en tournant l'écrou L et ramener, s'il est utile, le contact entre les emboîtages du moteur.

Si l'on veut remplacer le pivot, on soutient d'abord par en haut, avec un palan, la charge des verticaux et de la turbine, on démonte le balancier E, qui laisse tomber la pièce B portant la crapaudine, on sort par l'emplacement libre de B dans le croisillon le pivot, qui ne tient à l'arbre vertical que par une simple vis pointée ; enfin, on remplace les pièces usées par des pièces neuves de mêmes numéros.

En outre, la turbine Normale est munie d'un vannage cylindrique, extérieur au distributeur, de sorte qu'il n'existe aucun espace inutile entre celui-ci et la couronne mobile. Ce vannage porte, à sa partie inférieure,

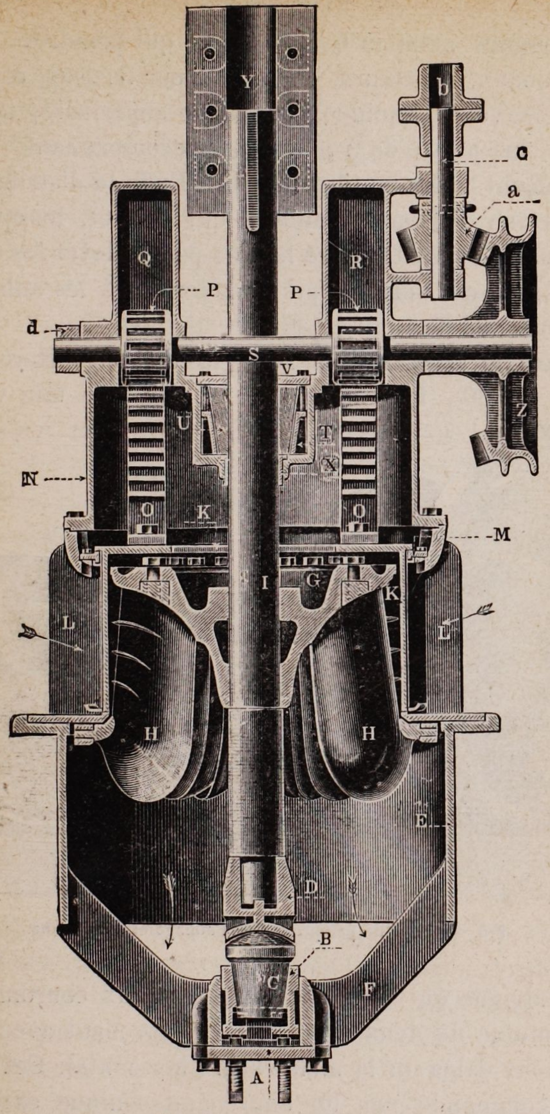


Fig. 29. — Turbine Hercule perfectionnée, coupe verticale par l'axe de l'ensemble.

de longues palettes horizontales, qui pénètrent dans les canaux directeurs, sur toute leur largeur, et guident la veine liquide à sa partie supérieure, ce qui évite la perte de rendement accompagnant ordinairement la diminution du débit. Enfin le distributeur porte une cloison démontable qui permet, lorsqu'elle est enlevée, d'introduire le bras pour enlever les corps étrangers qui auraient pu s'arrêter entre les aubes de la roue mobile.

Turbine Hercule. — Dans la turbine « Hercule « (fig. 29-30), la dépense est réglée par une vanne

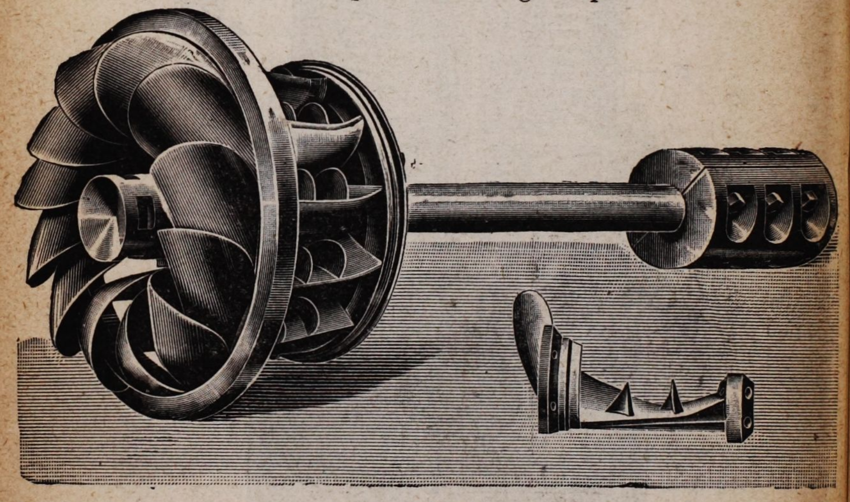


Fig. 30. — Vue perspective de l'aubage et d'une aube.

cylindrique qui se meut entre les deux couronnes et est munie de deux crémaillères engrenant avec deux pignons calés sur le même arbre horizontal. Cet arbre est commandé par un engrenage conique extérieur placé au haut de l'appareil.

La figure 29 montre le modèle perfectionné par MM. Singrün frères, d'Epinal. Le pivot C, en forme de champignon, est en bois dur et constamment plongé dans l'eau d'aval ; il est implanté dans la crapaudine B, que deux vis maintiennent à la hauteur voulue et empêchent de tourner. On peut aussi employer un pivot hors de l'eau. Le tube d'aval E est notablement raccourci et débarrassé de toute saillie, pour ne pas gêner l'écoulement des liquides ; dans le même but, les bras du croisillon F sont arrondis en haut et en bas.

Chaque aube H est munie à sa partie supérieure d'un patin, en forme de segment circulaire, qui pénètre dans une rainure creusée, au tour, au-dessous du porte-aubes G ; on a ainsi un assemblage extrêmement solide. La vanne K est fondue d'une seule pièce avec ses ailettes intérieures. La figure 30 représente une vue perspective de l'aubage entier et d'une aube séparée.

Turbine Leffel. — La turbine Leffel est une des plus anciennes turbines mixtes américaines ; elle est encore très répandue, car il en existait aux Etats-Unis, à la fin de 1893, d'après le constructeur, environ 13000, produisant une puissance totale d'environ 550 000 chevaux. Les principaux modèles sont le *Standard* et le *New Special;* cette seconde forme ne diffère de la précédente que par une plus grande hauteur du vannage et des aubes, ce qui permet d'accroître notablement le débit, et par conséquent la puissance, à diamètre égal.

M. Tyler a imaginé de recouvrir la turbine Leffel d'une cloche qui permet de l'utiliser pour les basses chutes, même avec des niveaux très variables.

Turbine Bookwalter et Tyler. — Cette turbine est une modification de la précédente ; elle possède (fig. 31) deux couronnes d'aubes *eg* et *i'g'*, séparées par une cloison cylindro-conique *dd'*, qui forme, avec le chapiteau *c*, l'armature de la roue mobile. Ces deux séries d'aubes reçoivent l'eau d'une même couronne directrice, dont les cloisons O (fig. 32), règlent l'ouverture des canaux d'admission E.

Pour les aubes supérieures, l'arête terminale *g* est à peu près normale à la direction moyenne de l'eau qui s'en échappe, afin de faciliter l'inflexion du liquide parallèlement à l'axe, suivant la courbure de la paroi *dd'*; celle-ci est tracée de façon que la hauteur des aubes aille en croissant de *e* vers *g*, pour offrir à la sortie de l'eau un débouché aussi large et aussi libre que possible. A partir de *d'* (fig. 31), la cloison *dd'* se rapproche un peu de l'axe et suit autant que possible l'inflexion naturelle de l'eau tombant de *eg*, afin d'augmenter, du haut en bas ou de l'entrée à la sortie de l'eau, la largeur radiale des aubes inférieures ; elle se termine enfin par un biseau *f*, qui forme un ajutage divergent et assure la libre sortie du liquide provenant des aubes supérieures.

Quant aux aubes inférieures *g'*, elles ont, à l'entrée, une hauteur égale aux deux tiers de celle BD du vannage (fig. 31), afin d'égaliser à peu près les sections radiales du débit des deux rangées dans le plan *hh'*. Leurs parois, presque verticales jusqu'en *i'*, s'infléchissent ensuite de manière à donner au liquide une vitesse absolue de sortie verticale. Leur diamètre moyen, fixé par l'expérience, doit avoir une valeur telle que la vitesse propre de ces aubes soit égale à celle

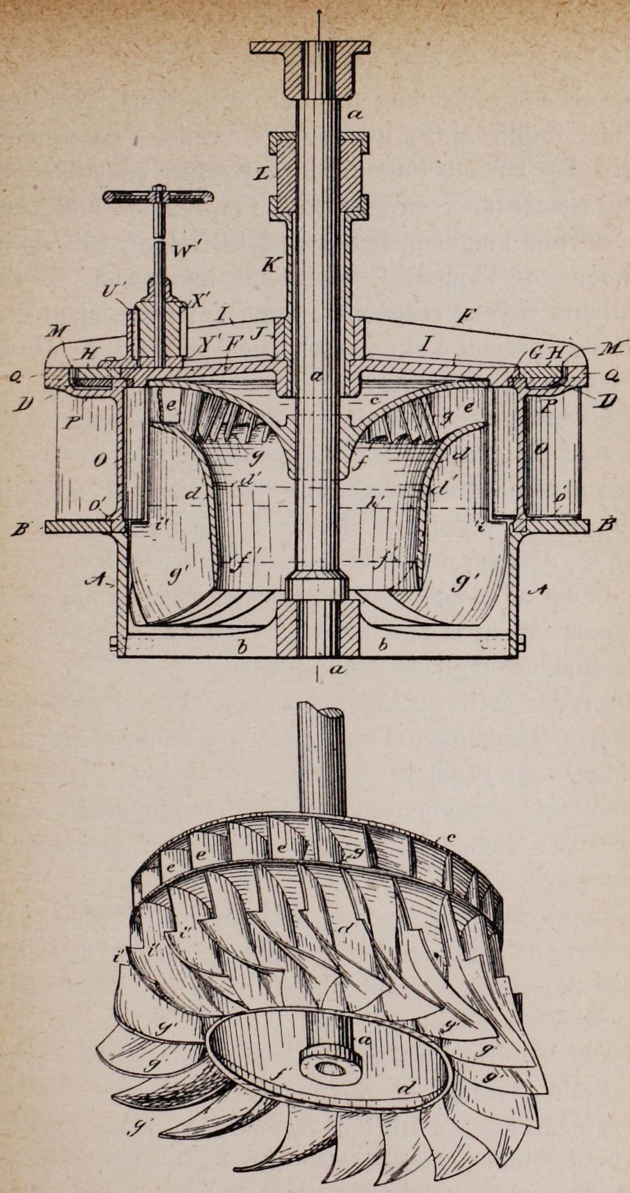


Fig. 31. — Turbine Bookwalter et Tyler
(coupe verticale diamétrale et ensemble de la roue).

des aubes supérieures ; dans ces conditions, la liaison rigide établie entre les deux couronnes ne produit entre elles aucun antagonisme. On assure encore mieux cette concordance en donnant à l'entrée des aubes *e* et *g'*, sur une longueur de 6 à 15 millimètres, suivant le diamètre de l'appareil, une même inclinaison de 45° sur leurs rayons respectifs. Enfin l'élargissement des aubes *g''* permet d'augmenter leur débit et par suite la puissance du récepteur.

Le vannage est produit par les aubes directrices O, qui sont pivotées sur les deux plateaux B et F, et sont manœuvrées simultanément par un anneau H, muni de coulisses M, attaquant chaque vanne par son coulisseau Q, disposé de façon que son bras de levier soit maximum au moment où la pression de l'eau oppose à son mouvement la plus grande résistance, c'est-à-dire au commencement de l'ouverture.

Dans les petits modèles, on manœuvre directement l'anneau H au moyen d'un pignon X' ; dans les grandes turbines, on rend le fonctionnement plus facile en faisant agir ce pignon sur un large secteur denté, solidaire d'un excentrique dont la bielle est articulée à l'anneau.

Chaque vanne se termine, à la partie inférieure, par une lèvre *O'*, qui empêche l'eau de tomber dans les aubes inférieures avant d'avoir reçu la vitesse et la direction convenables.

La turbine Bookwalter-Tyler se construit aussi avec une seule couronne et un vannage à tambour.

La même maison fabrique encore une turbine tangentielle, destinée principalement aux hautes chutes.

Turbine New-American. — Ce récepteur (fig. 33)

est d'une construction simple et robuste, qui le rend particulièrement convenable pour les hautes chutes. Les aubes du vannage, pivotées près de la roue, sont presque complètement équilibrées. Le vannage est commandé, comme dans la turbine Leffel, par un sec-

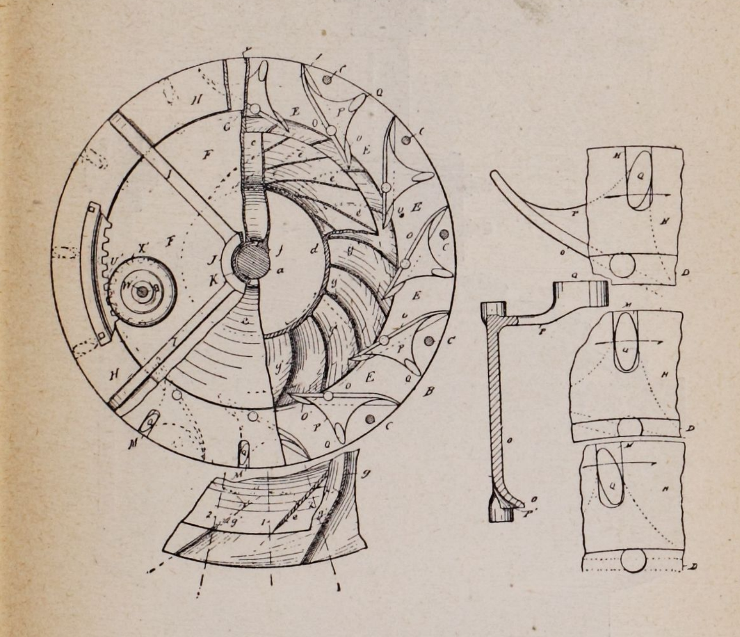


Fig. 32. — Turbine Bookwalter et Tyler
Plan coupe ; détail des aubes de la roue et du vannage.

teur à bielles radiales. Quatre tubes indicateurs permettent de contrôler à chaque instant le fonctionnement du récepteur : le premier fait connaître la pression réelle de l'eau dans l'enveloppe et par conséquent les pertes dans le tuyau d'amenée ; le second montre la

perte de charge due au tuyau d'aspiration et à son coude ; le troisième indique le niveau de l'eau dans le

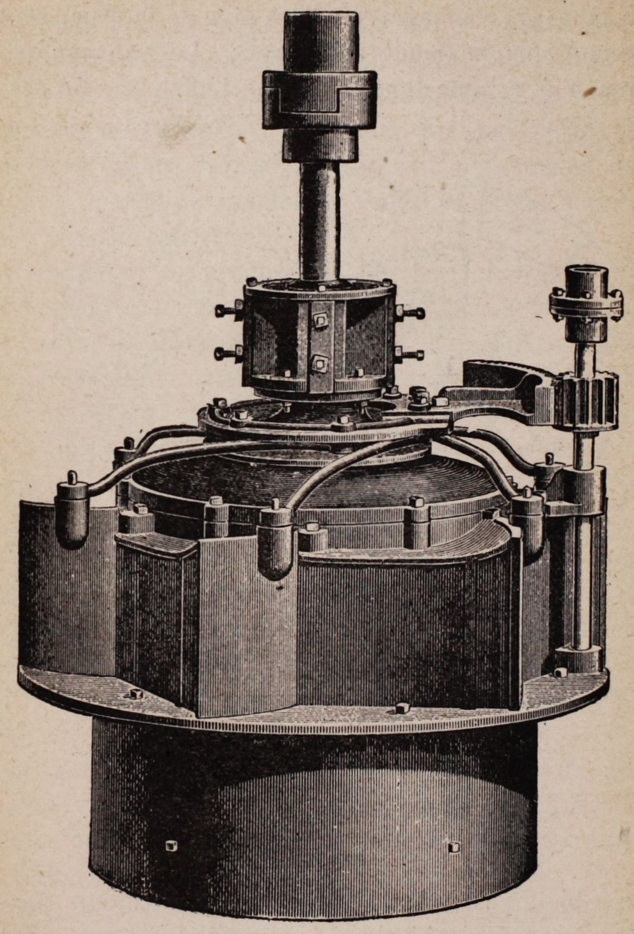


Fig. 33. — Turbine New-American (ensemble).

tuyau d'aspiration et permet de voir si la turbine est complètement noyée, comme cela doit être. Enfin le

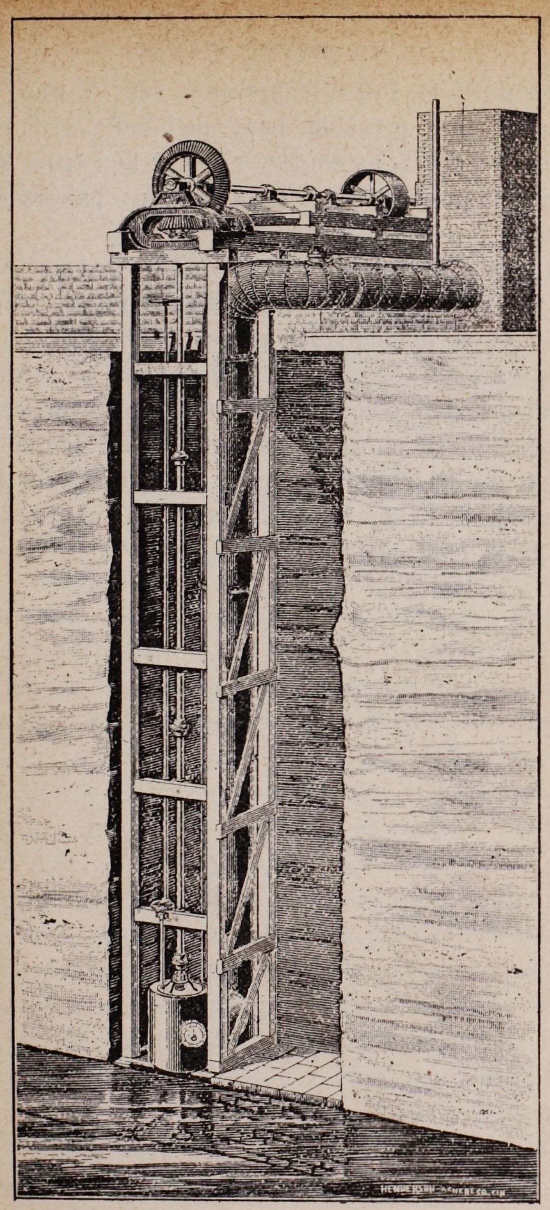


Fig. 34. — Turbine New-American pour hautes chutes.

quatrième tube donne la pression sur la roue de la turbine ; cette pression peut quelquefois, dans les appareils à débits étranglés, s'élever aux trois quarts de la charge et fatiguer beaucoup les paliers et les butées.

La figure 33 montre une turbine New-American de 0,630 m. de diamètre, fonctionnant sous une chute de 23 mètres et donnant une puissance de 400 chevaux, à la vitesse de 420 tours. Le mouvement est transmis jusqu'au haut de la chute par un arbre vertical. Un récepteur du même genre, ayant 1,06 m. de diamètre, est installé au moulin à papier de la *Cataract Manufacturing C°* (Niagara) et donne 1 900 chevaux sous une chute de 30 mètres.

DEUXIÈME PARTIE

LES MOULINS A VENT

Moulins à axe vertical. — Moulins à axe horizontal. — Moulins américains : leur classification. — Moulins à régulateurs centrifuges (Halladay). — Moulins réglés par gouvernail (Corcoran). — Moulins à arrêt automatique. — Moulins sans gouvernail. — Applications.

Moulins à vent à axe vertical.

La force vive de l'air peut être, comme celle de l'eau, transformée en travail, en faisant agir ce gaz sur des roues d'une construction convenable. Les premières applications de ce système ayant eu pour but d'actionner des moulins, on a donné le nom de moulins à vent à tous les récepteurs qui utilisent la puissance du vent, bien qu'ils puissent être et qu'ils aient été employés à d'autres travaux, tels que la manœuvre des pompes, le travail des huileries, etc.

Les moulins peuvent être à axe vertical ou à axe à peu près horizontal. Les premiers n'ont qu'un faible rendement et sont par suite très peu employés. Dans cette catégorie se placent les moulins *à la Polonaise,* formés d'ailes rectangulaires verticales dont les plans passent par l'axe et qui tournent dans une enveloppe cylindrique, munie d'une ouverture pour laisser pénétrer le vent. Les *Panémores* sont formés de deux bras horizontaux, terminés par des ailes en forme de conoïdes, qui présentent alternativement à l'action du

vent leur concavité et leur convexité et n'utilisent par suite que la différence des actions du courant gazeux sur les deux faces.

Le journal allemand *Prometheus* décrit un système de moteur à vent, à axe vertical, qui paraît fort intéressant. Il se compose d'ailettes construites comme des volets, de telle sorte que la surface opposée au vent diminue automatiquement en cas de pression exagérée.

D'après ce qu'affirme l'ingénieur qui a combiné ce système, on pourrait réaliser ainsi un mouvement de rotation uniforme, en profitant des vents modérés et en utilisant même les vents violents qui forcent les moulins usuels à carguer leurs voiles. Un moteur de ce genre, avec des ailettes de 60 centimètres de longueur environ, ferait faire 60 tours à l'axe par un vent de 4 mètres de vitesse. Ce résultat mérite l'attention. Des appareils de ce genre permettant de pomper l'eau, de faire marcher de petites machines-outils, ou de produire l'éclairage électrique, sans bourse délier autrement que pour leur installation, seraient certainement fort appréciés et rendraient d'excellents services.

Moulins à axe horizontal.

Ces moulins sont beaucoup plus employés. Ils sont formés de quatre ailes montées sur un arbre qu'on place dans la direction du vent; cette direction faisant généralement un angle de 8 à 15° avec l'horizon, l'arbre est ordinairement incliné d'environ 10°, au lieu d'être complètement horizontal. Cet arbre porte, à son extrémité, quatre bras disposés en croix et dont

chacun sert d'axe à une aile ayant la forme d'un rectangle gauche. Ces ailes sont formées de lattes transversales équidistantes, normales aux bras et recouvertes d'une voile en natte ou en toile. Pendant les arrêts, on serre les voiles en les rapprochant de l'axe. Un frein, placé dans l'intérieur du moulin, sert à maintenir la roue immobile.

Pour éviter de serrer les voiles, ce qui est dangereux par les grands vents, M. Berton a imaginé de constituer les ailes par des planchettes longitudinales se recouvrant partiellement, comme les lames d'une jalousie, et articulées, au moyen de brides, avec des lattes transversales qui peuvent elles-mêmes tourner autour de leurs points d'attache sur les bras. Tout le système est commandé par un pignon central, dont l'axe passe dans l'intérieur de l'arbre, qui est creux; on peut donc, au moyen d'une manivelle qui termine cet arbre, faire varier l'inclinaison des lames sur les bras et réduire peu à peu la surface de l'aile jusqu'à la seule largeur des bras.

Ce système a le défaut de donner aux ailes, qui sont planes, la même inclinaison sur la direction du vent dans toute leur longueur, tandis qu'il convient, pour un bon rendement, que cette inclinaison aille en augmentant, de 30° pour la partie la plus voisine de l'arbre à 60° pour l'extrémité de l'aile.

Tout le mécanisme d'un moulin peut tourner autour d'une forte pièce de bois verticale, pour permettre de donner à l'arbre la direction du vent.

Certains moulins s'orientent automatiquement, quand le vent vient à changer : ils sont munis pour cela, dans le plan vertical passant par l'arbre et du côté

opposé aux ailes, d'une queue portant une sorte de girouette qui détermine l'orientation.

La puissance moyenne que peut donner un moulin ne peut s'estimer que si l'on connaît exactement le régime moyen des vents à l'emplacement même du moulin, régime qui peut varier d'une année à l'autre, de sorte qu'on ne peut avoir que des approximations assez vagues. D'après Coulomb, un moulin ordinaire du type flamand, à 4 ailes de 21 mètres de diamètre, peut fournir une puissance d'environ 7 chevaux avec un vent de 7 mètres par seconde. D'après M. Wolff, un moulin du type Corcoran, l'un des plus répandus aux États-Unis, donne, avec le même vent, pour une roue de 7,60 m. de diamètre, faisant 30 à 35 tours par minute, une puissance de 1,34 cheval; un moulin à roue de 3,20 m. donne une moyenne de 2,4 chevaux, avec une dépense de 0,12 fr. par cheval-heure.

Moulins américains.

Les moulins à vent sont d'un usage extrêmement fréquent en Amérique; ainsi, aux États-Unis, on en comptait, en 1893, plus de 500 000; ils sont surtout répandus dans les grandes plaines du Missouri et du Mississipi, où ils alimentent des pompes allant puiser jusqu'à 50 et même 150 mètres l'eau nécessaire au bétail. Il convient de dire que, dans ces plaines, le régime des vents paraît plus favorable qu'en Europe; ainsi, à Saint-Louis, on admet que le vent possède une vitesse d'au moins 30 kilomètres à l'heure, pendant au moins les quatre cinquièmes de l'année.

Les moulins à vent doivent toujours être établis de manière à supporter la plus grande vitesse de vent

utilisable sans danger, tout en pouvant s'adapter à la plus faible vitesse; or, la vitesse du vent varie entre des limites très étendues, 4 à 15 mètres par seconde, en moyenne, et la puissance du récepteur augmente comme le cube de la vitesse; les moulins doivent donc se prêter à des conditions très différentes. Pour cela, il faut faire varier dans de larges limites, soit la surface des ailes, soit l'orientation par rapport au vent.

Dans les moulins américains, les grandes ailes des nôtres sont remplacées par un grand nombre de petites ailettes fixes ou articulées, ce qui permet d'obtenir le réglage automatiquement, donne à ces récepteurs un aspect léger, les rend peu encombrants et très peu coûteux; cette dernière qualité explique qu'on ait pu les employer dans un grand nombre de circonstances où les types européens seraient inapplicables.

Classification des moulins américains. — M. Wolff divise les moulins américains en deux classes : dans la première, le réglage est produit par un régulateur, généralement à force centrifuge, faisant replier sur la roue les ailes, qui sont mobiles. Dans la seconde, les ailettes sont fixes et la roue s'oriente par l'action de deux gouvernails rectangulaires placés, l'un sur le prolongement de l'axe, l'autre perpendiculairement à cet axe. Le premier gouvernail sert à maintenir la roue face au vent; le second la défile ou l'incline sur le vent lorsqu'il devient trop fort.

Dans certains appareils, les gouvernails peuvent s'incliner l'un par rapport à l'autre, ce qui permet de régler à volonté l'inclinaison moyenne du moulin sur le vent. Enfin le premier gouvernail peut être aidé ou même remplacé par une petite roue perpendiculaire

à la roue principale, qui tourne sous l'action du vent jusqu'à ce qu'elle ait ramené celle-ci face au vent.

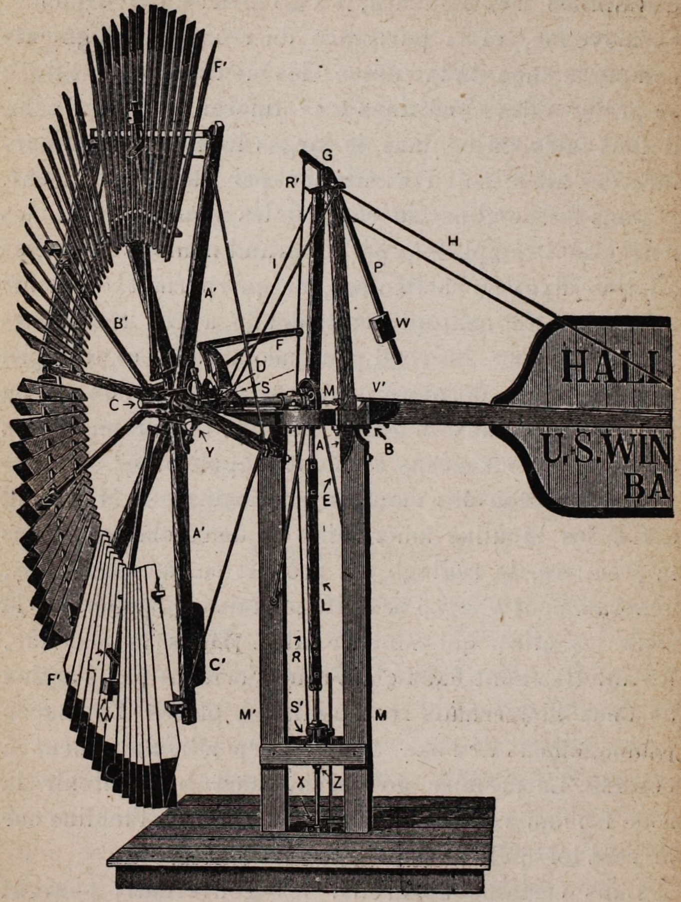


Fig. 35. — Moulin Halladay.

Les gouvernails sont moins sensibles que les régulateurs centrifuges, dont il existe de nombreux mo-

dèles ; mais, comme ils sont plus simples et d'une sensibilité suffisante pour la plupart des cas, ils sont plus souvent employés.

Moulins à régulateurs centrifuges. — L'un des plus répandus est le moulin Halladay, employé aussi en France. Les ailettes F′ (fig. 35) sont articulées et peuvent se replier comme on le voit sur la figure 41 ; elles sont commandées par des bielles radiales B′, articulées aux leviers Y (fig. 36), que des biellettes relient à un manchon D. Quand le vent diminue, le poids W, par l'intermédiaire du levier PG, de la corde R′ et du levier F, pousse le manchon D vers

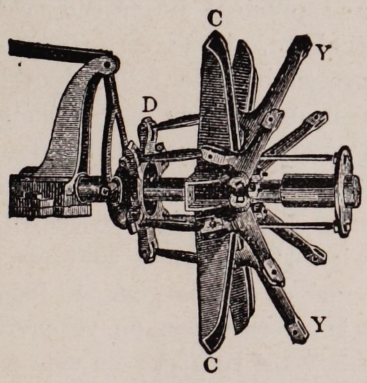


Fig. 36. — Moulin Halladay (détail du régulateur).

la gauche, de manière à ouvrir les ailes; lorsque la vitesse augmente, les masses centrifuges W′ tendent à replier les ailettes, comme sur la figure 41. On voit en A′ les bras de la roue, fixés sur le tourteau C calé sur l'arbre S, et réunies à la périphérie par les barres d'articulation des ailettes F′. Sur le modèle représenté, l'arbre S commande la tige L d'une pompe par

l'intermédiaire d'un disque manivelle M; la tige L est réunie avec son prolongement X par un joint universel S′Z, qui permet à l'appareil de tourner sur la plate-forme A pour suivre la direction du vent. Une corde R permet de manœuvrer les ailettes à la main, du bas de la tour. Un gouvernail, servant à maintenir la roue face au vent, est porté par un bras V′ et relié par des tirants d'attache H avec la partie supérieure G de l'appareil.

Moulins réglés par gouvernail. — L'un des systèmes les plus connus est le type *Corcoran* ou *Moulin Éclipse*, qui est également répandu en France (fig. 37 et 38).

Le moteur proprement dit se compose d'une roue de forme circulaire, placée verticalement et formée d'une armature en bois de frêne, dont les bras sont boulonnés au centre sur un moyeu en fonte, calé à l'extrémité d'un arbre horizontal. Sur toute la surface de l'armature et suivant les rayons de la roue sont fixées des lames en bois allant du centre à la circonférence extérieure; ces lames sont placées obliquement dans le sens de leur largeur, de façon à obtenir, comme dans les persiennes, un recouvrement complet, tout en laissant subsister un vide entre elles.

L'orientation et la désorientation se font au moyen d'une girouette ou gouvernail D, à grande surface, tournant librement, au moyen d'une armature en fonte, autour du même axe que le bâti. Deux secteurs dentés, dont l'un est fixe sur le support du gouvernail et l'autre, articulé sur le bâti, porte un levier à contrepoids O, rendent le moteur solidaire de son gouvernail.

Le contrepoids est calé sur la tige du levier de

façon que, en temps normal, le gouvernail étant placé suivant la direction du vent, le plan de la roue, per-

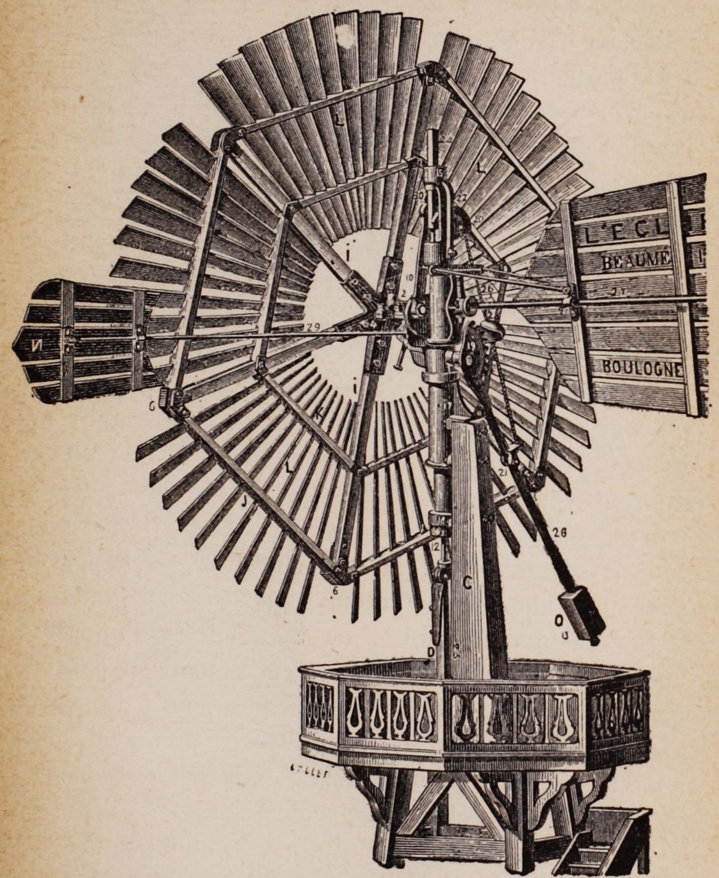


Fig. 37. — Moulin l'Eclipse, position normale (Beaume).

pendiculaire à cette direction, offre au vent son maximum de surface.

Dans un plan parallèle à celui de la roue, mais

complètement indépendante et tout à fait en dehors de celle-ci, est placée une palette ou vanne régulatrice N, formée de lames en bois posées à plat, et reliée au bâti au moyen d'une tige rigide en fer.

Le moteur peut tourner avec des vents très faibles, et par conséquent sans action sur la palette ; mais, si la vitesse du vent augmente et devient considérable, la vanne régulatrice N, qui reçoit aussi l'impulsion de ce vent, oblige le bâti à tourner et la roue prend peu à peu une position parallèle à celle du gouvernail D ; à ce moment, elle n'a plus rien à redouter du vent, puisqu'elle ne le reçoit plus que sur sa surface la plus restreinte. En opérant cette rotation, le bâti a entraîné son secteur articulé, lequel, trouvant un point d'appui sur le secteur denté fixe du gouvernail, entraîne à son tour le levier à contrepoids O. La violence du vent venant à diminuer, le contrepoids ramène, par une opération inverse, la roue à sa position primitive. L'orientation et la désorientation de l'appareil sont donc absolument automatiques.

Lorsqu'on veut arrêter ou immobiliser l'appareil, une chaînette, fixée au levier à contrepoids et descendant jusqu'au sol, en passant sur une poulie de renvoi placée à la partie supérieure du bâti, permet de manœuvrer la roue, pour l'amener de la position de travail à celle de repos et réciproquement.

Lorsque ce moulin doit commander une pompe placée au-dessous de lui, l'appareil de transmission se compose d'un arbre horizontal en acier, noyé dans un palier graisseur ; l'une de ses extrémités porte la roue motrice et l'autre extrémité reçoit une manivelle qui actionne une bielle dont la tête, guidée verticalement

au moyen d'une glissière, communique, par l'intermé-

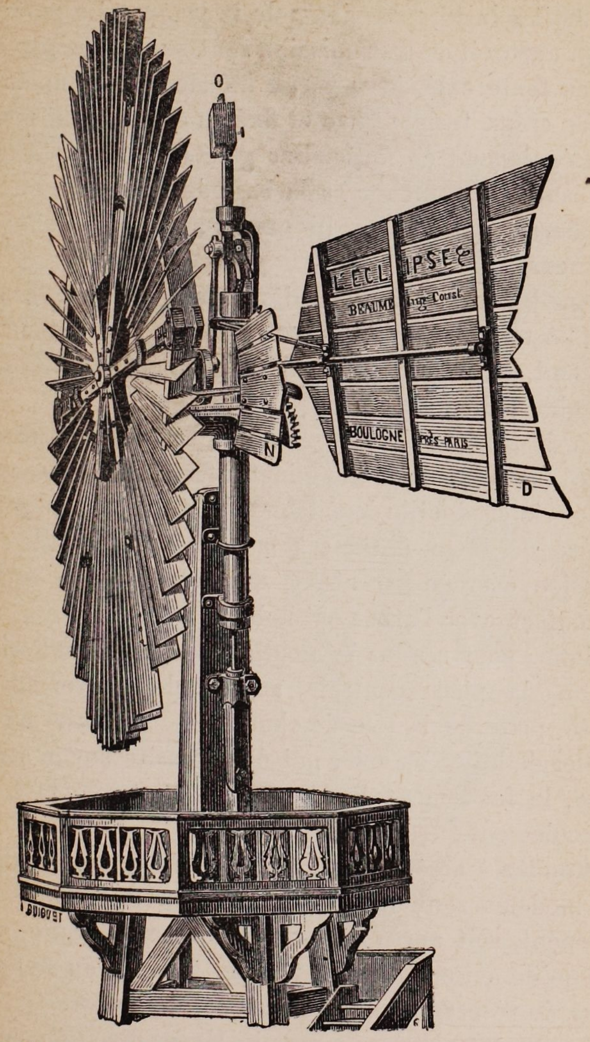


Fig. 38. — Moulin l'Eclipse, vu par un vent violent (Beaume de Boulogne-sur-Seine).

diaire d'une tringle en bois, un mouvement vertical alternatif à la tige du piston de la pompe. Le moteur et son appareil de transmission sont supportés par un bâti en fonte calé, à sa partie inférieure, sur un tube en fer creux formant axe et fixé au centre d'un manchon également en fonte. Des galets en acier, intercalés entre le manchon et la base du bâti, permettent à ce dernier de tourner librement autour de l'axe en fer creux.

Dans les moulins construits depuis 1891, le graissage de toutes les parties frottantes se fait automatiquement, au moyen d'une disposition qui constitue un véritable palier graisseur.

Au-dessous de chaque coussinet, se trouve un réservoir d'huile; dans le coussinet inférieur est ménagée une sorte de douille dans laquelle est placée une petite sphère en liège flottant à la surface de l'huile ; la pression exercée par l'huile sur cette sphère assure le contact avec l'arbre qui l'oblige à tourner.

Enfin, pour rendre le moulin plus sensible à l'orientation, la pièce centrale, au lieu de reposer sur la partie plate de la tête de charpente, s'appuie sur un collier de billes en acier qui ne nécessite aucun graissage, le frottement de glissement étant remplacé par le roulement.

Moulins à arrêt automatique. — Un certain nombre de modèles sont disposés pour s'arrêter automatiquement, soit après un certain nombre de tours, soit, lorsqu'ils actionnent une pompe, à la fin du remplissage du réservoir alimenté par cette pompe.

La fig. 39 montre un moulin Myers disposé pour ce dernier cas. En temps normal, le rochet 8 est main-

tenu dégagé d'un cliquet, actionné par la bielle même de la pompe. Dès que le niveau voulu est atteint, l'eau

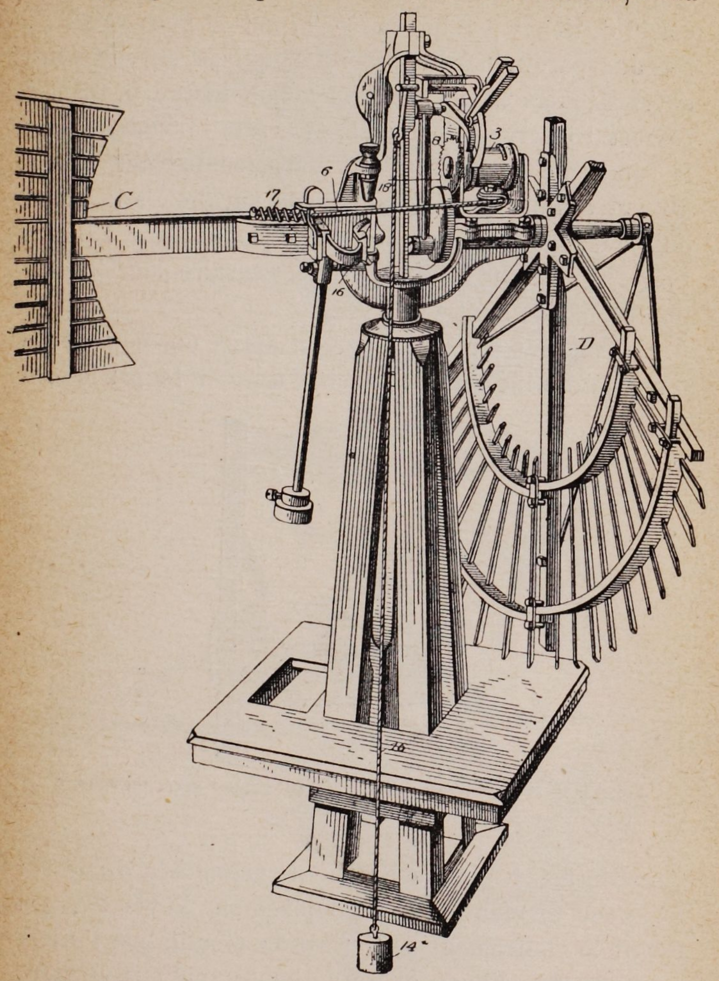


Fig. 39. — Moulin Myers, avec arrêt automatique à flotteur.

soulève le flotteur 14, suspendu au levier 12 par la

corde 15, ce qui amène le rochet 8 en prise avec le cliquet. Le treuil 3 est ainsi mis en mouvement et sa corde 6, tirant par le ressort 17 sur le gouvernail C, l'amène parallèlement à la roue, qui se dérobe alors automatiquement du vent. En même temps, le frein à ressort 16 serre la poulie 1, et arrête immédiatement la rotation du moulin. Afin d'arrêter le mouvement du gouvernail lorsqu'il est devenu parallèle à la roue, on a découpé sur le rochet 8 une partie plane 18, qui limite l'arc denté à la longueur nécessaire pour accomplir ce mouvement.

Si l'on veut arrêter le moulin après un nombre de tours déterminé, on remplace le flotteur 14 par le cro-

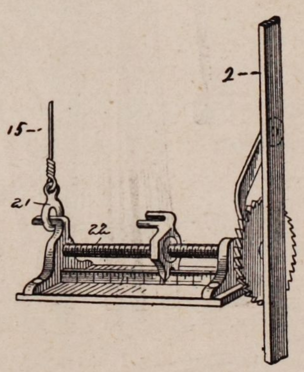


Fig. 40. — Moulin Myers : dispositif pour arrêter après un nombre de tours voulu.

chet 21 (fig. 40), qui s'attache de même à la corde 15; un écrou formant butée se déplace sur la vis 22, qui reçoit le mouvement de l'arbre du moulin par l'intermédiaire du cliquet et du rochet 2; cet écrou vient repousser le crochet 21 et détacher la corde, lorsque l'appareil a fait le nombre de tours voulu.

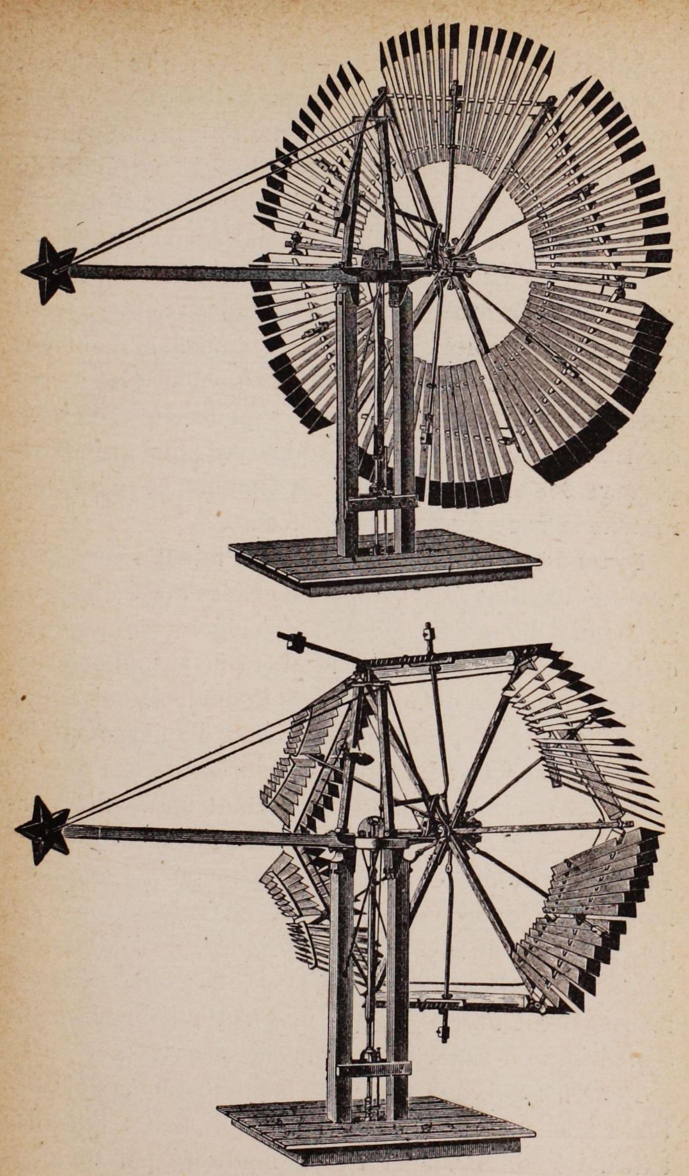


Fig. 41. — Moulin sans gouvernail.

Moulins sans gouvernail. — Pour les petits moulins, il arrive parfois qu'on supprime complètement le gouvernail. Le modèle (fig. 41) est équilibré par un contrepoids en fonte, en forme d'étoile, placé à l'extrémité du bras qui remplace le gouvernail ordinaire ; il marche vent arrière, de sorte qu'il se maintient automatiquement dans la direction du vent, sans le secours d'aucun gouvernail. La roue est du type Halladay ; quand le vent devient assez violent, elle se replie, comme le montre la figure, en soulevant un régulateur à poids, dont le moment résistant augmente à mesure qu'il s'élève, de sorte qu'il offre une résistance de plus en plus grande au ployage des ailes ; quand le vent diminue, ce régulateur ramène la roue à sa première forme.

Tours des moulins à vent. — Pour mieux recevoir le vent, les moulins américains sont généralement disposés au sommet d'une tour, qui doit être légère, solide et peu coûteuse. Ces tours se font le plus souvent en acier, et en bois pour les hauteurs exceptionnelles, qui exigeraient la création, toujours coûteuse, d'un type spécial en fer ou en acier. La figure 42 représente une tour en bois de 45 mètres de hauteur, portant un moulin Corcoran, dont la roue a 6,80 m. de diamètre. Cette tour a 14 mètres de côté à la base et 6 au sommet. Les quatre montants d'angles ont leurs sabots en fonte attachés par des tirants à de gros dés en briques, de 1,50 m. de côté, sur fondation en béton et pilotis ; chacun de ces montants est formé, jusqu'à une hauteur de 37 m., de 3 madriers en sapin de 0,15 m. d'équarrissage.

Pour les petits moulins, on emploie quelquefois des tours à balancier (fig. 43) : le moulin, fixé à l'une des extrémités du balancier F, est équilibré par un con-

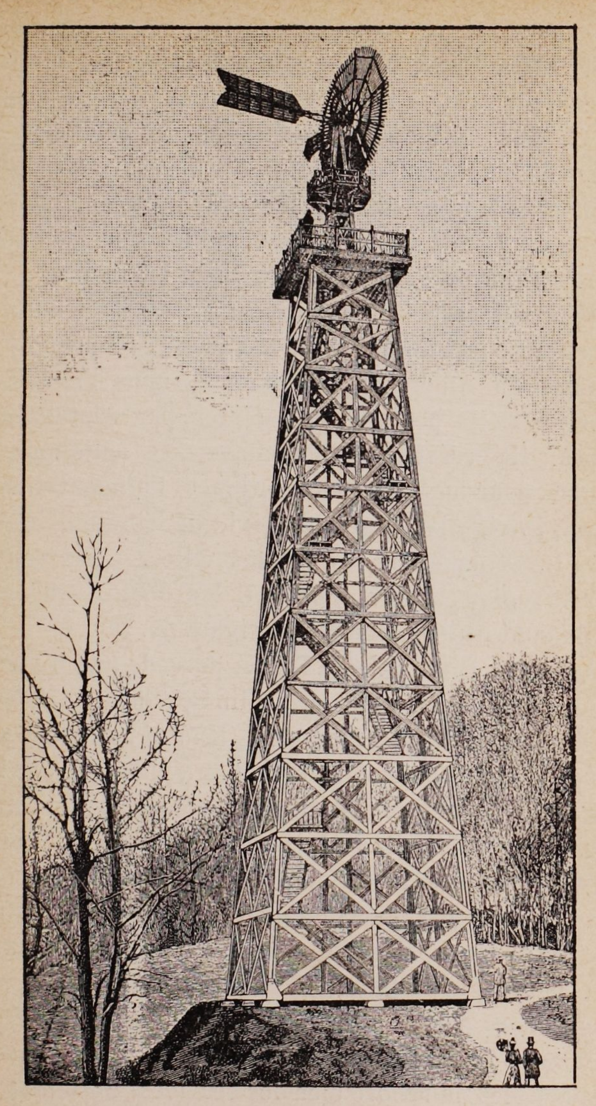


Fig. 42. — Tour en bois de 45 m. de hauteur.

trepoids P ; il peut ainsi être facilement amené à terre pour le graissage, les réparations, etc., puis remis en place d'un coup du balancier, que l'on attache ensuite en G. Sur le modèle représenté, le balancier est formé d'un faisceau de quatre cornières, convenablement entretoisées et disposées de manière à laisser passer la tige R de la pompe, guidée par les collets R^1 R^2 autour de l'axe tubulaire H du balancier.

Applications. — Il n'est pas sans intérêt d'énumérer les nombreuses applications auxquelles se prêtent les moulins en Amérique, où, comme nous l'avons dit plus haut, ils peuvent se compter par centaines de milles. Ils servent principalement à actionner les pompes pour les usages domestiques, l'alimentation du bétail, l'irrigation des prairies, la distribution de l'eau dans les villages et les petites villes. C'est surtout dans la région californienne, le Colorado, le Texas, etc., qu'ils sont utilisés pour les irrigations.

Arkansas City, dans le Texas, possède une distribution d'eau alimentée par un moulin Corcoran de 4,30 m. de diamètre; Macpherson City (Kansas) emploie pour le même usage un moulin de 6,60 m., placé sur une tour de 24 mètres. Mais c'est principalement dans les fermes que ces moulins rendent le plus de services, car ils peuvent être employés non seulement au service de l'eau, mais à tous les autres usages, et en particulier à la petite meunerie. Signalons encore leur application aux petites installations d'éclairage électrique, avec le concours d'une batterie d'accumulateurs.

Il est à regretter que ces appareils, peu coûteux et susceptibles de rendre bien des services, ne soient pas plus répandus en France.

Nous pouvons cependant citer quelques applications

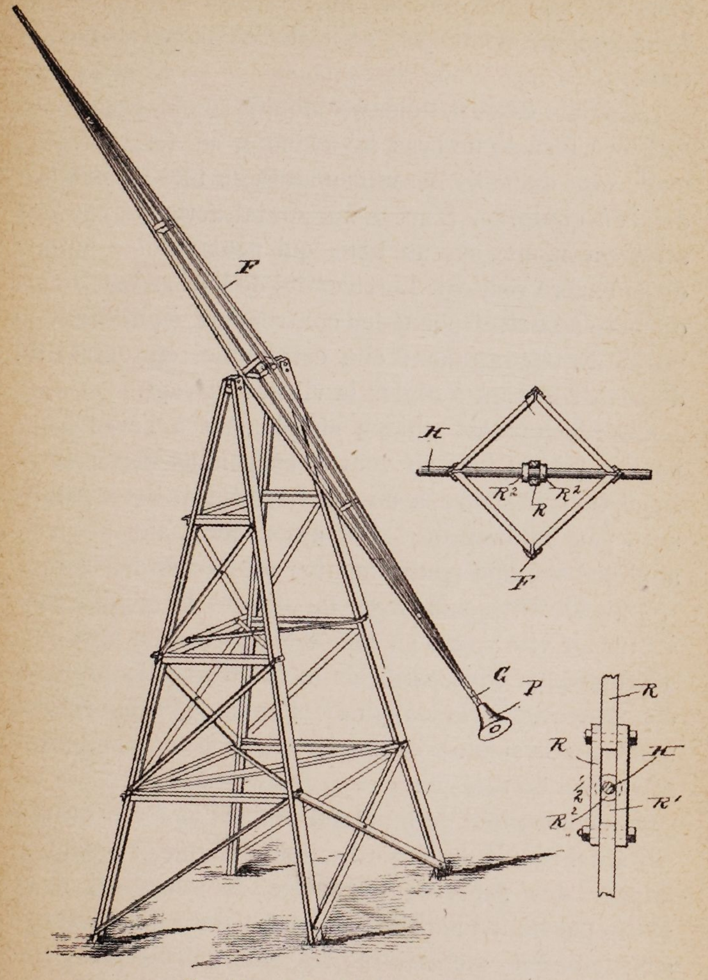


Fig. 43. — Tour à balancier Perry.

récentes. Ainsi, à Montmartre, sur la terrasse du

Moulin de la Galette, M. Doifranc, ingénieur, vient d'établir[1] une installation complète pour la production de la lumière électrique, en utilisant la puissance du vent.

La partie essentielle de ce moulin se compose d'une ossature formée de bras rayonnants, en fer, sur lesquels sont disposés des ailes planes en tôle au nombre de six à quatorze. L'arbre horizontal actionné par ces ailes est monté sur un bâti, qui peut pivoter autour de son arbre vertical. L'extrémité de l'arbre horizontal opposée aux ailes porte des contrepoids équilibrant le poids de ces organes; elle est munie, en outre, du dispositif servant à régler la vitesse du vent.

Ce résultat est obtenu simplement à l'aide d'une palette faisant face au vent et suspendue librement, à sa partie supérieure, à un axe horizontal. Cette palette agit par un bras de levier assez court sur un frein appliqué sur une poulie montée sur l'arbre horizontal.

Plus le vent souffle avec force, plus le moulin tend à tourner vite; mais en même temps le vent agit avec d'autant plus d'intensité sur la palette verticale et par conséquent le frein s'applique d'autant plus énergiquement sur la poulie, en modérant proportionnellement la vitesse de rotation.

L'inconvénient de l'instabilité dans la force du vent est ainsi réduit dans les limites pratiques ; quant au danger des ruptures par suite de tempêtes, il est évité, paraît-il, par la disposition des ailes. Celles-ci sont, en effet, mobiles sur les bras qui les portent et elles sont maintenues contre le vent par l'action de

1. *Echo des mines et de la métallurgie.*

ressorts en acier. Le bras qui supporte chaque aile ne passe pas par le milieu de celle-ci ; il laisse d'un côté un tiers de la surface, de l'autre côté les deux tiers. Quand la force du vent dépasse une limite dangereuse pour la résistance, l'aile bascule en faisant fléchir les ressorts ; elle se présente plus ou moins de profil dans le vent ; l'effort agissant sur le moulin ne peut donc dépasser une limite prévue, d'où sécurité absolue. Lorsque l'intensité du vent diminue, l'aile reprend d'elle-même sa position, sous la pression des ressorts. L'appareil se passe bien, paraît-il, de surveillance.

La commune de Rosay, dans le département de la Marne, vient d'établir une distribution d'eau complète avec bornes fontaines, abreuvoirs, bouches d'incendie et concessions à domicile.

Cette distribution est entièrement alimentée par un moteur à vent de 4,800 m. de diamètre, placé à 15 mètres au-dessus du sol. Les eaux sont refoulées par cet appareil à 20,170 m. au-dessus de la source dans laquelle se fait l'aspiration.

Tout le système a été mis en marche au mois d'octobre 1894 et, malgré l'expérience d'un hiver long et rigoureux, il ne s'est produit aucun accident.

C'est la première fois dans la région de l'Est que l'on signale l'emploi d'un moteur aérien pour une distribution d'eaux publiques.

Nous citerons encore une installation d'éclairage électrique commandée par un simple moulin à vent. Cette installation est d'origine anglaise ; elle fonctionne avec succès, paraît-il, depuis deux ans, chez un simple particulier. Le moulin à vent en question actionne, au moyen d'une seule aile de 6 mètres de diamètre, et d'un

certain nombre deroues d'angle, une dynamo de 2 kilowatts, qui charge une batterie d'accumulateurs de 46 éléments ayant une capacité de 200 ampèreheures. Dès que la dynamo donne 100 volts, elle est connectée automatiquement avec les accumulateurs.

Cette installation suffit à l'éclairage de 4 bâtiments comprenant 137 lampes, dont 40 au plus brûlent simultanément.

Ce qu'il y a de particulier à la dynamo employée, c'est que les inducteurs portent 2 enroulements, l'un en dérivation, l'autre en série, mais enroulé en sens contraire, de sorte que son effet est démagnétisant. Si la vitesse est petite, le courant principal est faible et la désaimantation du champ est faible aussi. Si, par un grand vent, la vitesse croît, l'intensité du champ est maintenue dans les limites normales par cet enroulement en série. Ainsi la vitesse du moteur dépend de la vitesse du vent, mais la dynamo n'est jamais surchargée et donne un courant dont la tension varie très peu. Il faut remarquer aussi qu'une décharge des accumulateurs par renversement de pôles de la dynamo est impossible dans ce cas.

Avec un vent ayant une vitesse de 16 kilomètres à l'heure, la dynamo donnait 3,5 ampères et 110 volts, avec une vitesse de 32 kilomètres à l'heure, 18,25 ampères et 112 volts.

L'installation entière revient à 10 000 francs environ.

TROISIÈME PARTIE

LES MOTEURS A GAZ TONNANTS

CHAPITRE PREMIER

NOTIONS SOMMAIRES DE THERMODYNAMIQUE

Variations thermiques des corps gazeux. — Représentation graphique. — Rendement économique. — Isothermiques et adiabétiques. — Cycle de Carnot. — Ses propriétés. — Définitions.

Variations thermiques des corps gazeux. — L'état physique d'un corps quelconque, et en particulier d'un gaz ou d'une vapeur, est défini par trois quantités, qui dépendent l'une de l'autre, de sorte que, si l'on fait varier l'une, les deux autres varient en même temps : ces trois quantités sont le volume, la température et la pression. En particulier, dans le cas des gaz parfaits, la relation entre ces trois grandeurs prend une forme simple, qui est encore suffisamment approchée dans le cas qui nous occupe :

$$p\,v = R\,T \tag{1}$$

en appelant p la pression, v le volume, T la température absolue (comptée à partir de — 273° C.) et R une constante.

Représentation graphique. — Si nous faisons varier l'état physique du corps, les changements qu'il subit peuvent toujours être représentés graphiquement : pour cela, on construit une courbe en prenant pour abscisses

les volumes et pour ordonnées les pressions (fig. 44) ; la température se détermine par l'équation (1).

Mais, dans toute variation de ce genre, il y a perte ou gain de chaleur et, parsuite, production ou absorption de travail. On démontre que ce travail, positif ou négatif, est représenté par la surface comprise entre la courbe, l'axe des x et les deux ordonnées correspondant aux points extrêmes. Si, en particulier, le corps revient finalement à son état initial, après avoir subi une série de transformations représentées par une courbe ou un *cycle* fermé, le travail est représenté par l'aire comprise à l'intérieur de cette courbe.

Rendement économique. — Ceci suppose nécessairement deux variations accompagnées, l'une d'une perte, l'autre d'un gain de chaleur, la différence entre la perte et le gain étant seule transformée en travail : il faut donc avoir deux sources de chaleur, à des températures T et t, dont l'une fournit de la chaleur, tandis que la seconde en absorbe et joue par conséquent le rôle d'un réfrigérant. Si la première source fournit par seconde une quantité de chaleur Q et que la seconde absorbe q dans le même temps, on ne transforme en travail que la quantité $Q - q$, et le travail produit est égal à :

$$425\ (Q - q) \text{ kilogrammètres,}$$

425 étant l'équivalent mécanique de la calorie. Or, si toute la chaleur fournie Q avait été transformée en travail, on aurait obtenu :

$$425\ Q.$$

Le *rendement économique* est le rapport de ces deux quantités :

$$\rho = \frac{Q - q}{Q};$$

la comparaison des rendements économiques des différents cycles permet d'apprécier quels sont ceux qui donnent les meilleurs résultats et qu'il convient d'employer de préférence.

On a cru autrefois qu'on pourrait annuler q et transformer en travail toute la chaleur fournie par la source ; c'est absolument impossible, car, pour fermer le cycle, il faut absolument disposer d'une source et d'un réfrigérant ; or la température de ce dernier ne peut jamais être abaissée jusqu'au zéro absolu.

« Il est aussi impossible de transformer tout le calorique disponible en travail qu'il l'est d'actualiser tout le travail potentiel d'une chute d'eau, en comptant comme hauteur de chute la distance du bief d'amont au centre de la terre, vers lequel la gravitation tend à faire converger sa masse. Refroidir un gaz au zéro absolu est aussi impossible, mais tout aussi nécessaire, que d'atteindre le centre de notre globe » (A. Witz)[1].

Il faut donc se borner à chercher le moyen de diminuer q.

Isothermiques et adiabatiques. — Il n'y a qu'un petit nombre de cycles qui présentent quelque intérêt ; le plus remarquable est certainement celui de Carnot, qui s'obtient de la manière suivante.

Si l'on fait varier le volume et la pression d'un gaz, sa température restant constante, la courbe décrite est une ligne *isothermique ;* l'équation (2) se réduisant, d'après la loi de Mariotte, à

$$p\,v = C^{te}, \qquad (2)$$

cette ligne est une hyperbole équilatère.

1. A. Witz, *Traité théorique et pratique des moteurs à gaz.*

On peut au contraire faire varier l'état du gaz à chaleur constante, c'est-à-dire sans perte ni gain de chaleur ; on obtient alors une ligne *adiabatique* ou de nulle transmission, dont la forme se rapproche encore d'une hyperbole, car on démontre qu'elle est représentée par l'équation

(3) $$p\,v^{\frac{C}{c}} = C^{te},$$

C et *c* étant les chaleurs spécifiques du gaz à pression constante et à volume constant.

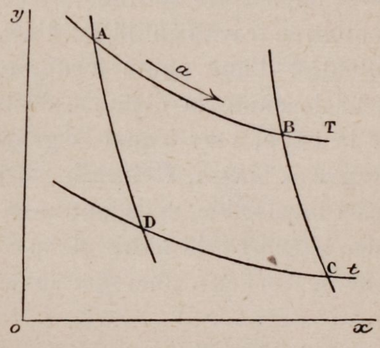


Fig. 44. — Cycle de Carnot [1]

Cycle de Carnot. — Le cycle de Carnot (fig. 44) se compose de deux lignes isothermiques et de deux lignes adiabatiques.

Les deux premières correspondent aux deux températures absolues T et *t* de la source de chaleur et du réfrigérant.

De A en B, le gaz se détend ; sa pression diminue,

1. Chauveau, *Traité théorique et pratique des moteurs à gaz.* Paris.

son volume augmente et la source lui fournit la chaleur nécessaire pour maintenir sa température constante. De B en C, le volume continue à croître et la pression à diminuer, mais, comme on ne fournit pas de chaleur à la masse gazeuse, sa température s'abaisse progressivement de T à t. De C en D, le volume diminue et la pression augmente ; la chaleur produite est absorbée par le réfrigérant, de façon à maintenir la température constante et égale à t. Enfin, de D en A, le gaz continue à prendre un volume de plus en plus petit et une pression de plus en plus grande, mais la chaleur produite ramène peu à peu la température à T°.

Propriétés du cycle de Carnot. — Le cycle de Carnot jouit de propriétés précieuses : tout d'abord, il est réversible, c'est-à-dire qu'il peut être décrit dans un sens ou dans l'autre. En outre, il est complet, c'est-à-dire qu'il possède le même coefficient économique, pourvu que les limites de température restent constantes. Enfin, son rendement est maximum pour des limites données de température. Ce rendement peut être mis sous une autre forme : comme les quantités de chaleur Q et q sont fournies à température constante, on a :

$$\frac{Q}{q} = \frac{T}{t},$$

de sorte que l'on peut écrire :

$$\rho = \frac{T - t}{T}.$$

Le rendement est donc égal, dans ce cas, au rapport de la chute de température à la température de la source. Nous avons dit que ce rendement est maximum ; sans vouloir démontrer complètement cette

propriété, on peut la justifier par les considérations suivantes. « Il est en quelque sorte évident par soi-même que ce cycle fermé a été décrit de manière à donner un travail maximum. La chaleur cédée par la source a été employée uniquement à produire du travail; celui-ci est donc un maximum. La chaleur envoyée à la source de froid a été développée aussi économiquement que possible, puisque le travail n'a donné aucune variation de température. Les deux autres opérations n'ont eu pour but que de faire tomber et puis de faire remonter la température et la pression (Hirn). »

Toutefois, il convient d'ajouter que, si le rendement du cycle de Carnot ne peut être dépassé, il peut cependant être égalé par celui de beaucoup d'autres, pourvu que ces cycles satisfassent aux deux conditions suivantes :

1° Que les échanges de chaleur se fassent encore à température constante ;

2° Que les deux autres opérations soient telles que la quantité de chaleur fournie par l'une suffise à l'accomplissement de l'autre.

En d'autres termes, il faut que le cycle se compose de deux isothermiques et de deux *isodiabatiques* ou lignes d'égale transmission.

Définitions. — Nous avons défini plus haut le rendement économique ; on appelle *rendement générique* d'un cycle le rapport du rendement économique de ce cycle à celui d'un cycle de Carnot, entre les mêmes limites de température ; ce rendement indique donc la valeur relative du cycle, comparé à celui de Carnot.

On nomme *travail disponible* celui que fournirait le

combustible consommé, si le rendement du cycle était égal à celui de Carnot. Par suite de diverses pertes, le travail produit par le piston est plus faible : ce travail, qui se calcule au moyen des diagrammes de l'indicateur de Watt, est appelé *travail absolu* ou *travail indiqué*, suivant qu'on suppose un vide parfait derrière le piston ou qu'on tient compte de la contre-pression. Le second mode de calcul est le plus employé ; on évalue ainsi la valeur intrinsèque du moteur. Par suite des frottements et autres pertes, une partie seulement du travail indiqué se retrouve sur l'arbre de couche et peut être réellement utilisé ; c'est le *travail effectif;* il se mesure au moyen du frein dynamométrique.

CHAPITRE II

DES MACHINES THERMIQUES

Comparaison des machines thermiques. — Machines à vapeur. — Machines à air chaud. — Moteurs à gaz chauds. — Moteurs à gaz tonnants. — Moteurs à pétrole. — Conclusions.

Comparaison des machines thermiques. — On donne le nom de *moteurs thermiques* à toutes les machines qui produisent du travail en dépensant de la chaleur. Seuls, les corps gazeux subissent, par suite des variations de température, des changements de volume assez grands pour pouvoir être utilisés pratiquement. Les fluides ainsi employés décrivent un cycle fermé, c'est-à-dire qu'ils passent périodiquement par une série de variations thermiques capables d'engendrer un travail qu'on recueille.

Si nous supposons, pour simplifier, que ces variations satisfont aux conditions des cycles parfaits, le rendement, d'après le principe de Carnot, ne dépend pas de la nature du fluide, mais seulement des deux températures extrêmes, T et t, de la source de chaleur et du réfrigérant dont on dispose, ces deux températures étant comptées à partir du zéro absolu (— 273° centigrades); le rendement est alors :

$$\frac{T-t}{T}$$

Si l'on donne à t une valeur fixe, par exemple 273° (0° C.) et qu'on fasse croître T, on constate que, pour

T=673° (400° C.), le rendement n'atteint encore que la valeur de 0,60. Or, c'est là une limite qu'on ne saurait dépasser, car c'est la température pour laquelle les parois métalliques séparant le fluide du foyer commencent à rougir; on est même obligé de s'arrêter au-dessous de 300° C., pour éviter la décomposition des graisses, qui perdraient leurs propriétés lubrifiantes et se transformeraient en cambouis solides et épais. Comme il est impossible, d'un autre côté, d'abaisser t jusqu'à 0° C. et que les condenseurs ne permettent guère de descendre au-dessous de 45°, on ne dispose en réalité pour $T-t$ que de 200°, ce qui limite le rendement à 0,45.

Machines à vapeur. — Il est vrai que, si l'on emploie des vapeurs, c'est-à-dire des fluides voisins de leur point de liquéfaction, ces vapeurs, en se liquéfiant, joueront le rôle de matières lubrifiantes ; mais, comme la force élastique maxima des vapeurs saturantes croît rapidement avec la température, on est encore obligé de ne pas élever T, pour ne pas dépasser la résistance qu'on peut exiger des chaudières. L'eau, qui est employée d'ordinaire et qui est le moins volatil des fluides actuellement susceptibles d'être utilisés, ne peut être surchauffée au-dessus de 200° C. environ, car elle possède déjà, à cette température, une force élastique maxima supérieure à 10 atmosphères. Le rendement de la machine à vapeur d'eau ne peut donc pas dépasser 0,40 ; mais il pourrait s'élever notablement au-dessus de cette valeur, si l'on parvenait à remplacer l'eau par un liquide ne possédant à 400° C. qu'une force élastique modérée et satisfaisant d'ailleurs aux conditions de bon marché et de stabilité indispensables.

Moteurs à air chaud. — Une autre solution consiste à remplacer la vapeur d'eau par un gaz tel que l'air, dont la force élastique augmente bien moins vite avec la température ; on arrive bien ainsi à augmenter T, mais, comme on n'obtient pas un refroidissement aussi intense, $T-t$ ne dépasse pas encore 250°, ce qui donne un rendement de 0,44.

Cette faible augmentation du rendement est compensée, dans les *machines à air chaud,* par de graves inconvénients, tels que la nécessité, pour échauffer le gaz, de très grandes surfaces métalliques, qui rendent les machines lourdes et embarrassantes. Aussi les machines à air chaud, bien que réalisant un cycle plus parfait, ne peuvent lutter avec les machines à vapeur que pour la production de faibles puissances, ne dépassant pas 2 à 3 chevaux.

Moteurs à gaz chauds. — Il est évident que si, au lieu de chauffer l'air dans un récipient séparé du foyer par une paroi métallique, on fait passer ce gaz directement sur le combustible, on n'a plus à craindre de voir rougir cette paroi et l'on pourra porter l'air à une température T beaucoup plus haute ; mais alors l'air qui agit sur le piston est mélangé avec les produits de la combustion. On peut ainsi augmenter beaucoup la variation de température, mais les poussières solides entraînées par les gaz mettent bientôt les cylindres hors d'usage ; de plus, ces machines sont encore volumineuses et compliquées; néanmoins elles auraient pu arriver à donner de bons résultats, si elles n'avaient pas été remplacées par les suivantes. Nous croyons inutile de décrire ici les machines à air ou à gaz chauds, qui ne sont plus employées depuis longtemps.

Moteurs à gaz tonnants. — Ces machines sont en réalité des moteurs à gaz chauds, dans lesquels le combustible est gazeux au lieu d'être solide ; c'est ce qui les rend beaucoup plus pratiques, car l'alimentation devient plus facile à entretenir et à régler ; les foyers, les surfaces de chauffe disparaissent, et avec eux toutes les complications. La combustion qui échauffe les gaz est si rapide qu'elle permet d'en porter une très grande masse à une température très supérieure à celles qu'on peut atteindre dans les appareils précédents, et cela dans un temps très court et dans un très petit espace.

En outre, ces moteurs peuvent devenir très économiques lorsqu'on les alimente avec des gaz pauvres.

Malheureusement on est obligé de maintenir les parois du cylindre moteur au-dessous de 300° C., ce qui abaisse la température du gaz et occasionne une perte considérable de chaleur.

Moteurs à pétrole. — Le moteur à pétrole nous offre une nouvelle forme des moteurs à gaz, qui peut facilement se transporter et s'installer partout et n'exige ni usine, ni gazogène, ni canalisation. Ces moteurs sont très économiques et ont reçu, depuis quelques années, des perfectionnements qui les ont rendus vraiment pratiques.

Conclusions. — « Théoriquement, la machine à vapeur n'est pas parfaite ; mais, au point de vue utilitaire, elle jouit d'une prééminence indiscutable, parce que sa marche est sûre et son rendement satisfaisant. Objet d'une étude assidue et de recherches continuelles depuis que Watt l'a créée, elle a réalisé successivement tous les perfectionnements possibles : elle paraît être

arrivée à son point culminant et ne semble plus guère perfectible.

« Les machines à air chaud, au contraire, et surtout les moteurs à gaz, répondent à un type qui est théoriquement plus parfait que celui de la machine à vapeur; mais leur cycle est peu étudié jusqu'ici et fort mal réalisé. Encore dans leur enfance, ils ne peuvent concourir avec leur sœur aînée; mais ils sont pleins de promesses et l'on peut espérer de les perfectionner beaucoup.....

« Le moteur à gaz tonnant est la plus parfaite des machines à air chaud. C'est lui qui dispose de la plus grande chute de température et par suite du plus haut rendement. Son cycle est bien conçu; il est très supérieur à celui de la machine à vapeur. Mais il n'est pas aussi bien réalisé.

« Nous le reconnaissons et nous nous en félicitons : car le moteur à gaz est par suite le moteur le plus perfectible et celui qui nous fait concevoir les plus grandes espérances. » (A. WITZ[1].)

1. A. Witz, *Traité théorique et pratique des moteurs à gaz.*

CHAPITRE III

DES GAZ COMBUSTIBLES EMPLOYÉS DANS LES MOTEURS A GAZ TONNANTS

Composition du gaz d'éclairage. — Son pouvoir calorifique. — Augmentation de ce pouvoir. — Fabrication privée du gaz. — Gaz de diverses substances. — Gaz à l'eau et gaz pauvre. — Gazogène Dowson. — Gaz mixte: gazogène Taylor. — Gazogène Taylor-Winand. — Gazogène Bénier. — Carburation de l'air. — Ethers et huiles de pétrole. — Carburation par les éthers de pétrole, par les huiles de pétrole,

Composition du gaz d'éclairage. — La composition du gaz d'éclairage est très complexe et en même temps très variable : elle dépend du choix de la houille, de la température des cornues, de l'allure des fours, des procédés suivis pour l'épuration physique et pour l'épuration chimique[1]. Elle peut varier dans une même usine, soit à quelques jours d'intervalle, soit même en quelques heures.

Nous donnons la composition de quatre échantillons différents de gaz d'éclairage, le premier étant mal épuré et les deux suivants bien épurés ; quant au quatrième, c'est un gaz beaucoup plus éclairant provenant d'huiles et de matières grasses.

1. Voy. de Mont-Serrat et Brisac. *Le Gaz*. Paris, Biblioth. des connaiss. utiles.

	a	*b*	*c*	*d*
Ethylène	8	3,8	4,1	38,0
Butylène	»	»	2,3	
Formène	72	32,8	34,9	56,5
Oxyde de carbone	13	12,9	6,6	»
Acide carbonique	4	0,3	3,6	»
Hydrogène	»	50,2	45,6	3,0
Acide sulfhydrique	3	»	»	»
Azote	»	»	2,7	2,5
	100	100,0	100,0	100,0

Malgré ces divergences, l'expérience montre qu'en rapprochant et discutant les résultats de nombreuses analyses, on peut obtenir la composition du gaz avec une approximation suffisante, car on cherche toujours à obtenir un même pouvoir éclairant. D'après M. Witz, la composition d'un gaz type, répondant aux conditions ordinaires des cahiers des charges, c'est-à-dire donnant un carcel avec une dépense de 105 litres, dans un bec Bengel, serait la suivante :

	Poids	Volume
Hydrogène	100 gr.	1116,0 litres
Oxyde de carbone	150	119,6
Azote	100	79,6
Formène	490	683,3
Ethylène et benzine	130	103,6
Carbures divers	30	12,0
	1000 gr.	2115,1 litres

Pouvoir calorifique du gaz d'éclairage. — Le pouvoir calorifique moyen du gaz d'éclairage, évalué par de nombreuses expériences calorimétriques, serait de 5250 calories à volume constant, dans les conditions normales de température et de pression, et de 5300 calories à pression constante, la vapeur d'eau produite étant supposée entièrement condensée.

Augmentation du pouvoir calorifique. — En suppri-

mant l'épuration chimique, on obtiendrait un gaz doué d'un plus grand pouvoir calorifique et qui conviendrait mieux au chauffage et par conséquent aux moteurs. On arrive encore au même résultat par carburation, par exemple en faisant barboter le gaz dans la gazoline.

D'un autre côté, sir W. Siemens a proposé de fractionner les produits de la distillation de la houille, de manière à n'utiliser pour le chauffage que le gaz produit pendant la dernière partie de l'opération. Les expériences de M. Hunt et de M. Witz montrent que cette séparation n'aurait aucune utilité, car le pouvoir calorifique varie comme le pouvoir éclairant, de sorte qu'en diminuant ce dernier on augmente la consommation des moteurs par cheval-heure.

Fabrication privée du gaz. — On peut aussi se demander si un industriel a avantage à fabriquer lui-même le gaz destiné à alimenter ses moteurs. La question est évidemment complexe et la solution dépend du prix auquel ce consommateur peut acheter le gaz d'une Compagnie. Généralement, les Compagnies peuvent arriver, grâce à l'exploitation des sous-produits, à fabriquer le gaz dans des conditions extrêmement avantageuses et peuvent souvent le vendre très bon marché. Il peut arriver cependant que, même en utilisant seulement, parmi les sous-produits, le coke et le goudron, un industriel trouve intérêt à fabriquer lui-même son gaz, s'il en consomme une quantité suffisante.

Gaz de diverses substances. — On peut d'ailleurs se servir, dans cette fabrication privée, de combustibles moins chers que la houille. Ainsi la tourbe donne un gaz, du goudron et un résidu appelé *charbon de*

tourbe. Dans les pays où on fabrique le charbon de bois, cette opération peut fournir un gaz qui ne coûte presque rien.

Tous les corps gras peuvent donner aussi par distillation des gaz carburés : on a souvent utilisé l'huile ; on s'est servi de certaines résines en Russie, de graines de lin sauvage au Brésil, de restes d'animaux dans la République Argentine, et à Reims d'eaux savonneuses provenant du désuintage des laines. Les résidus de la rectification du pétrole ont été aussi exploités avec succès, lorsque leur prix ne dépassait pas 15 à 20 fr. par 100 kilogrammes.

Le gaz Pintsch est un gaz d'huile de pétrole.

Gaz à l'eau et gaz pauvre. — Lorsqu'on se résout à fabriquer soi-même le gaz nécessaire pour l'alimentation d'un moteur, il est généralement plus avantageux, au lieu de distiller la houille, de fabriquer ce gaz avec des substances moins chères. Nous avons déjà vu qu'on peut distiller des combustibles plus économiques, tels que la tourbe. On peut aussi fabriquer du *gaz à l'eau :* de nombreuses tentatives ont été faites dans cette voie depuis cinquante ans.

On nomme gaz à l'eau le produit obtenu en faisant passer un courant de vapeur d'eau sur du charbon maintenu au rouge. Il se forme un mélange d'hydrogène, d'oxyde de carbone et d'anhydride carbonique ; la réaction peut donc être représentée par la formule suivante :

$$3C + 4H^2O = CO^2 + 2CO + 8H$$

Ce mélange est combustible, car il renferme 28 0/0 d'oxyde de carbone et 57 0/0 d'hydrogène. Il y a cependant intérêt à diminuer la quantité d'acide car-

bonique, en augmentant la proportion de charbon ou en faisant intervenir une plus grande quantité de vapeur d'eau, et à se rapprocher le plus possible de la formule :

$$C + H^2O = CO + 2H,$$

qui donnerait un mélange entièrement combustible, formé de volumes égaux d'hydrogène et d'oxyde de carbone. Ce gaz aurait un pouvoir calorifique d'au moins 3200 calories par mètre cube.

Il est d'ailleurs impossible d'obtenir ce résultat, car on est obligé, pour maintenir le charbon incandescent, d'en brûler une certaine quantité en injectant un courant d'air, soit par intermittences, soit en même temps que la vapeur d'eau. On introduit ainsi de l'azote et un peu d'anhydride carbonique, sans compter la proportion de ce dernier gaz qui se forme toujours dans la réaction. On peut cependant, en dirigeant bien l'opération, obtenir un produit doué d'un pouvoir calorifique de 2400 à 2800 calories. Le gaz produit ainsi, par la combustion incomplète du charbon, est désigné sous le nom de *gaz pauvre*.

Les mélanges tonnants formés avec les produits que nous venons d'indiquer dégagent autant de chaleur que ceux qui renferment du gaz de ville, car le gaz à l'eau n'exige que 2 à 3 volumes d'air, au lieu de 6 ; un moteur donne donc à peu près le même travail avec l'un quelconque de ces deux gaz. Mais les mélanges contenant le gaz de l'eau sont moins faciles à enflammer et doivent être par suite comprimés plus fortement.

On construit actuellement un certain nombre d'appareils destinés à la fabrication des gaz pauvres ; nous en décrirons quelques-uns.

Gazogène Dowson. — Cet appareil donne un mélange de gaz pauvre et de gaz de l'eau : pour cela, on fait passer sur une colonne de combustible incandescent un mélange d'air et de vapeur d'eau en proportions convenables. L'appareil Dowson (fig. 45) se compose d'un générateur, d'un surchauffeur de vapeur, d'un barillet, d'un laveur ou *scrubber* et d'un gazomètre. Le surchauffeur, qui se voit en avant de la figure, est une petite chaudière à serpentin, généralement chauffée au coke, qui vaporise la quantité d'eau nécessaire pour la production du gaz, soit à peu près 145 centimètres cubes par mètre cube de gaz produit ; cette chaudière est timbrée à 4 kilogrammes et peut donner, par heure, de 5 à 50 kilogrammes de vapeur surchauffée, suivant les modèles.

Cette vapeur traverse d'abord un injecteur du genre Kœrting ; le jet de vapeur, passant dans un tuyau conique ouvert, entraîne la quantité d'air nécessaire à l'alimentation du générateur. Celui-ci se compose d'un cylindre en tôle, garni intérieurement d'un épais revêtement de briques réfractaires, et muni d'une grille à la partie inférieure. Ce cylindre, qui constitue le gazogène proprement dit, se voit à gauche de la figure ; il est préalablement rempli de combustible, qu'on porte à l'incandescence. On fait alors arriver le courant d'air et de vapeur d'eau. L'eau donne de l'hydrogène et de l'oxyde de carbone ; l'air injecté en même temps brûle une partie du charbon ; cette combustion dégage assez de chaleur pour maintenir la masse à la température voulue ; elle produit en même temps de l'oxyde de carbone, qui s'ajoute au gaz de l'eau.

Le mélange renferme en outre l'azote de l'air et

peut contenir aussi de l'anhydride carbonique, dû aux deux réactions précédentes : on doit régler le courant d'air et de vapeur pour que la proportion de ce dernier gaz ne dépasse pas 6 à 7 0/0.

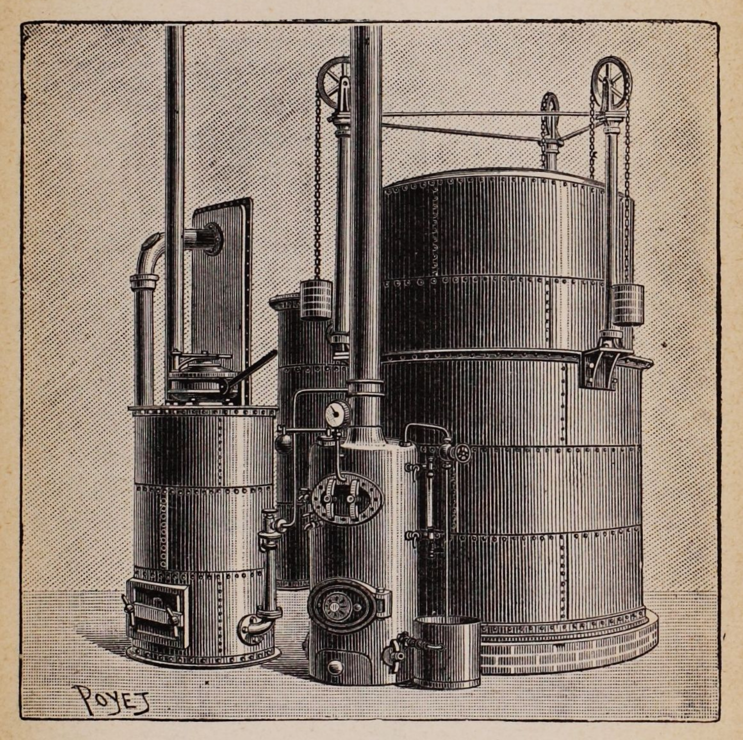


Fig. 45. — Gazogène Dowson (Pierson).

Le réglage de l'injecteur a une grande influence sur la qualité du gaz.

Il peut se dégager aussi une petite quantité de carbures d'hydrogène.

Au sortir du générateur, les produits gazeux tra-

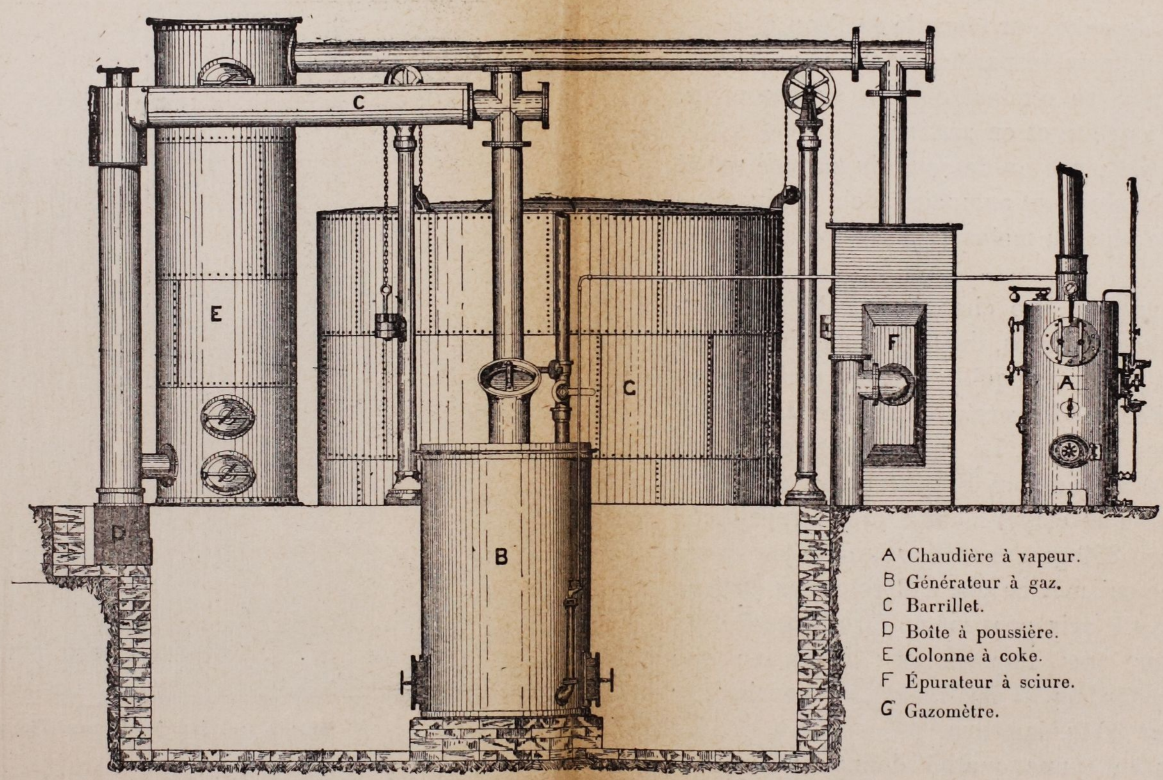


Fig. 46. — Installation d'un grand appareil Dowson (Pierson).

versent un barillet, divisé en deux par une cloison verticale ; c'est le niveau de l'eau dans cet appareil qui détermine la pression sous laquelle fonctionne l'appareil. Les gaz pénètrent ensuite dans le scrubber, où ils se lavent et se refroidissent en traversant une colonne verticale de coke, sur laquelle de l'eau coule en fines gouttelettes, puis se purifient dans une caisse à sciure de bois ; ils se rendent ensuite au gazomètre qu'on aperçoit à droite et en arrière.

Le scrubber est placé au-dessous du gazomètre ; il est entouré d'un récipient annulaire plein d'eau, dans lequel s'enfonce plus ou moins la paroi métallique de celui-ci.

Le générateur doit être chargé de coke ou d'anthracite ; les charbons gras, demi-gras ou bitumineux ne conviennent pas, parce qu'ils donnent des vapeurs de goudron qui se condenseraient dans les tuyaux et obstrueraient les brûleurs. Le chargement se fait par une ouverture située au haut du générateur, et fermée par une trémie ou un clapet muni d'un contrepoids.

Il faut environ 250 grammes d'anthracite par mètre cube de gaz, ce qui met ce gaz à 2 centimes environ le mètre cube. Ce prix peut même être abaissé dans les installations très importantes : à l'usine van Houten, à Amsterdam, il est évalué à 1 centime, le charbon coûtant 20 fr. la tonne.

L'anthracite de bonne qualité donne un gaz qui dégage environ 1500 calories par mètre cube ; il est bon de ne pas descendre au-dessous de 1350 calories.

Le barillet exige un courant d'eau de 100 à 150 litres par heure. Il est bon de charger du combustible toutes les 10 minutes, et de suivre la marche de l'ap-

pareil en dosant l'acide carbonique. Le scrubber doit être nettoyé tous les mois.

La figure 46 montre un appareil Dowson, de 160 chevaux indiqués, qui a été placé à la minoterie Mead

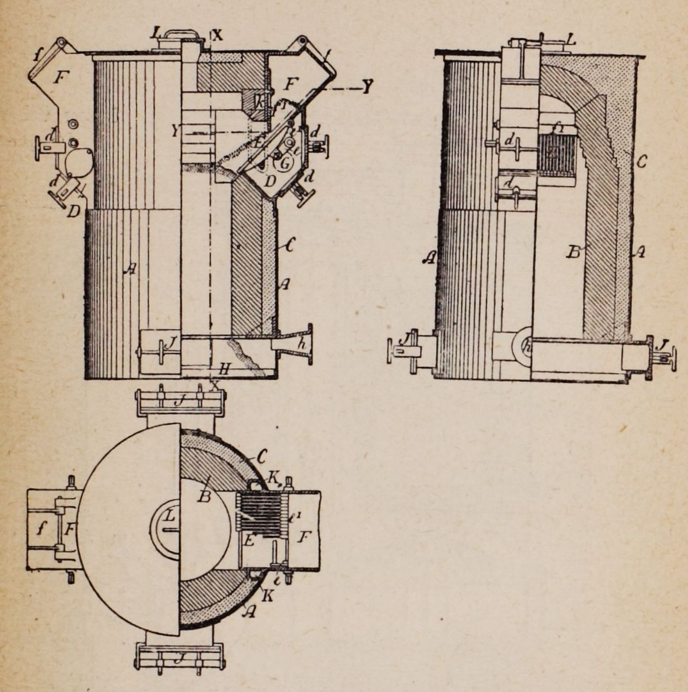


Fig. 47. — Gazogène Holt. — Coupes octogonales XX et plan YY.

A, Gazogène avec garniture en sable C, et briques réfractaires B. — F*f*, trémies avec grilles E, à secousses par *cc'*, avec cendrier D' à vidanges *dd* et ouverture G d'injection et de vapeur. — K, conduit dirigeant une partie de cette injection par les trous K, sur la masse de combustible B. — H, cendrier inférieur avec porte de décrassement J et sortie de gaz en *h*.

et fils, de Chelsea, avec un moteur Crossley, pour remplacer deux machines à vapeur compound. Avec ces machines, on consommait par 24 heures 4 tonnes de

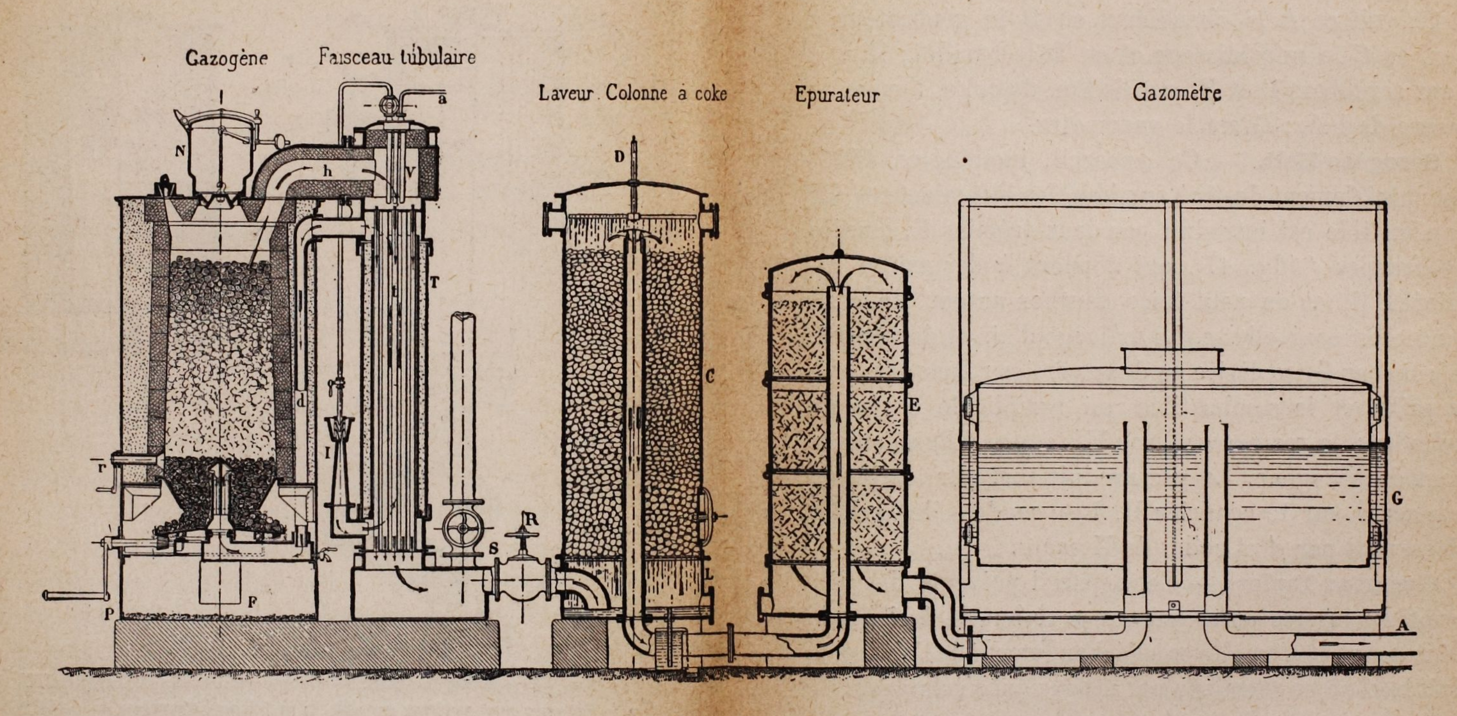


Fig. 48. — Gazogène Taylor à sole tournante (Fichet et Heurtey).

très bon charbon du pays de Galles ; le moteur Crossley, fonctionnant au gaz pauvre, n'use que 1530 kilogrammes d'anthracite, dont le prix par tonne est le même. La marche est plus régulière et les frais de graissage sont les mêmes.

On voit en A la chaudière, en B le générateur à gaz, en C le refroidisseur et en D le barillet ; il y a deux scrubbers E et F, garnis l'un de coke, l'autre de sciure de bois ; G est le gazomètre.

Gazogène Holt. — Cet appareil, imaginé en 1893, est spécialement destiné aux houilles bitumineuses. Le combustible est introduit par deux trémies F, munies de trappes *f* (fig. 47), qui donnent à des grilles inclinées E, qu'on peut faire tourner autour de e^1, à l'aide des manivelles *e*. Le mélange d'air et de vapeur, injecté par G, se divise en deux parties : l'une traverse la grille et le combustible qui remplit le corps du cylindre ; le reste passe par K*k* et se diffuse sur le haut du gazogène. Le gaz produit sort par les prises *h* placées sur le cendrier H. Les cendres des grilles s'évacuent par *d* et celles de H par *y*.

Gazogène Taylor. — Cet appareil présente des dispositions intéressantes qui ont pour but de faciliter le décrassage et d'employer à l'échauffement de l'air introduit la chaleur entraînée par les gaz qui s'échappent du gazogène ; ce dernier perfectionnement permet de réaliser une économie notable en utilisant de la chaleur que, dans la plupart des gazogènes, on est obligé de perdre dans les scrubbers ; de plus, on élève ainsi la température du foyer, ce qui permet d'injecter plus de vapeur d'eau et par suite d'enrichir le gaz. A cause de cette dernière propriété, MM. Fichet et Heurtey, qui cons-

truisent le gazogène Taylor, donnent le nom de *gaz mixte* au produit obtenu.

Le décrassage est facilité par la suppression de la grille et l'emploi d'une sole tournante. Le gazogène (fig. 48) se compose d'un cylindre vertical en tôle, revêtu intérieurement de briques réfractaires ; il a 4 mètres de hauteur pour les charbons maigre et demi-gras et 4,50 m. pour les charbons gras ; le diamètre varie de 1,75 à 2,70 m., suivant la puissance. Cet appareil, légèrement conique pour faciliter la descente du combustible, se termine à la partie inférieure par une trémie tronconique, où s'accumulent les scories et les cendres. Comme il n'y a pas de grille, ces matières viennent s'appuyer sur un plateau horizontal, placé à 25 centimètres environ au-dessous du bas de la trémie, et qui peut tourner autour de l'axe vertical de l'appareil. Dans ce but, la face inférieure du plateau porte une couronne dentée engrenant avec un pignon calé sur un arbre horizontal, qui traverse l'enveloppe et est actionné de l'extérieur au moyen d'un engrenage et d'une manivelle P. Au-dessous de ce plateau mobile est un plateau fixe, sur lequel le premier s'appuie par l'intermédiaire d'une couronne de boulets sphériques, logés dans une rainure. Cette disposition évite tout ajustage précis et rend la sole tournante très mobile.

A l'état de repos, le cône d'éboulement des scories s'arrête au bord du plateau mobile ; mais, si l'on imprime à ce dernier un mouvement lent de rotation, le cône s'écroule sur tout son pourtour et les mâchefers tombent dans le cendrier. Si les scories s'agglutinent, on active et on régularise la descente en enfonçant des barres de fer dans des trous ménagés dans l'enve-

loppe. Des regards *r* pratiqués dans cette enveloppe permettent de suivre l'opération et de maintenir la zone de combustion au niveau convenable, de sorte qu'elle ne s'étende pas jusqu'à la trémie métallique.

La cuve est entourée d'une enveloppe de sable, qui diminue les pertes de chaleur. La trémie de chargement N est munie d'un obturateur conique et d'un couvercle à loquet produisant une fermeture double et empêchant toute communication avec l'atmosphère.

L'appareil destiné à utiliser la chaleur entraînée par les gaz se voit à droite du gazogène. La vapeur d'eau, produite dans un générateur non représenté, arrive par *a*, traverse les tubes V du surchauffeur, et se rend à l'injecteur I, qui produit l'insufflation ; le mélange d'air et de vapeur passe encore dans le réchauffeur T, où il gagne encore de la chaleur au contact des tubes *t*, parcourus en sens inverse par les gaz chauds, et suit le tube *d*, placé dans l'épaisseur de la chemise calorifuge, pour arriver au-dessous du combustible. L'emploi de l'injecteur à vapeur I permet de faire varier le débit et la pression du mélange insufflé, ainsi que le degré d'humidité ; la proportion de vapeur doit être suffisante pour empêcher le collage et la fusion des scories.

Les gaz chauds sortent, à 750° environ, par le tube *h*, cèdent une grande partie de leur chaleur aux tubes V et au réchauffeur T, et laissent déposer en S les poussières entraînées, qui pourraient obstruer la valve de distribution R ; ils traversent ensuite un laveur L et une colonne de coke C, arrosée continuellement par un tourniquet hydraulique D ; ils abandonnent enfin le reste des produits étrangers dans l'épurateur E, et se

rendent au gazomètre G, d'où ils sont distribués par un tuyau A.

La figure 49 montre l'aspect extérieur d'un appareil Fichet et Heurtey, de 250 chevaux. Cet appareil n'exige pas de surveillance spéciale et peut être confié

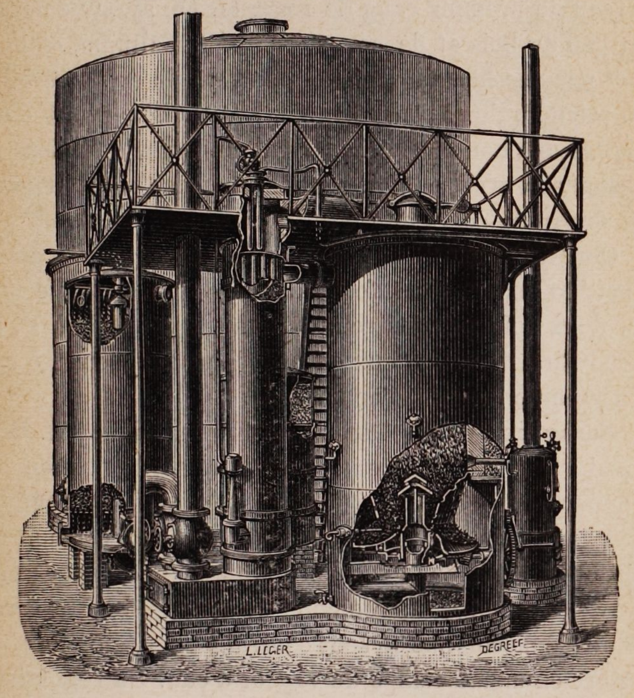


Fig. 49. — Appareil Fichet et Heurtey pour la production du gaz mixte.

à un simple manœuvre. On place généralement, au-dessus du gazomètre, un butoir qui arrête l'injection de vapeur dès que le gazomètre est plein.

Le gazogène Taylor peut être alimenté avec des houilles quelconques, pourvu qu'elles ne soient pas

collantes. Les houilles maigres ont l'avantage de coûter moins cher et de produire une descente plus régulière. Pour mettre en marche, on vide dans la trémie de chargement quelques sacs de mâchefer, de façon à remplir complètement la trémie conique jusqu'au niveau du premier rang de regards. On ajoute ensuite un peu de bois et de copeaux, que l'on allume, et l'on met par-dessus une certaine quantité de combustible ; on attend qu'une charge soit bien allumée avant d'en mettre une nouvelle. Pendant l'allumage, on laisse le gazogène ouvert ou l'on insuffle un peu d'air ; on peut se servir de coke, afin d'avoir moins de fumée.

Quand l'appareil est en marche, on charge le combustible une ou deux fois par heure ; on décrasse une ou deux fois par jour en tournant la manivelle P, et l'on retire, tous les deux ou trois jours, les cendres qui s'accumulent dans le cendrier F.

Gazogène Taylor-Winand. — En Amérique, M. Winand a apporté à l'appareil Taylor un perfectionnement qui pourrait aussi bien s'appliquer à tout autre gazogène. La chaudière spéciale est supprimée ; l'eau s'échauffe en circulant dans une cuve qui entoure le gazogène ; elle traverse ensuite une colonne de coke. L'air traverse cette même colonne en sens contraire, s'y échauffe et se sature en même temps de vapeur d'eau. Un régulateur règle le débit et la température de l'eau.

Gazogène Kitson et Walker. — Ce gazogène est, comme celui de Taylor, à sole tournante, mais la sole EE′ est inclinée sur son axe de rotation G (fig. 50) ; celui-ci tourne constamment, tantôt dans un sens et tantôt dans l'autre, sous l'action d'un mécanisme de poulies à renversement automatique ; ces poulies

agissent sur le pignon I, et la sole reçoit, grâce au filetage gH, un mouvement hélicoïdal alternativement ascendant et descendant, qui fait tomber lentement la couche de combustible et en assure l'homogénéité, sans

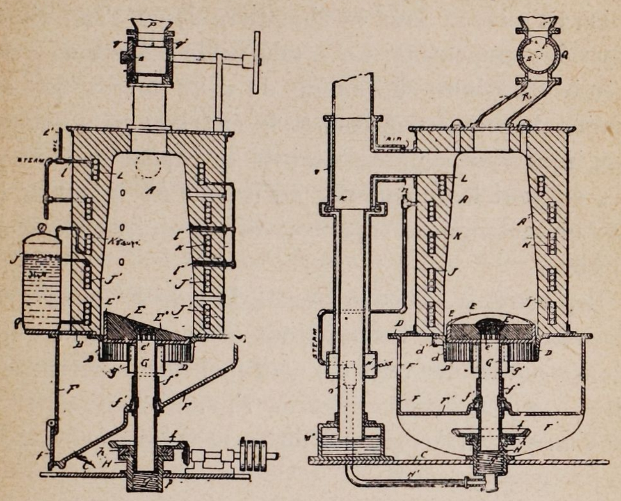


Fig. 50. — Gazogène Kitson et Walker à sole tournante.

A, gazogène alimenté de combustible en R, par la trémie P, à distributeur tournant Qs, dont les lèvres s et s' sont disposées de manière à couper le charbon sans coincer. — M, sortie du gaz à fermeture hydraulique M''. — N, entrée, autour de M, de l'air aspiré en M' par l'injecteur o, dont la vapeur se forme dans la chaudière J. — H', refoulement du mélange de gaz et de vapeur en travers de la colonne G et de la petite grille centrale c', à tampon d'amiante E''. — I, pignon recevant d'un jeu de trois poulies un mouvement alternatif tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, de manière à imprimer à G, par le filetage gH et, par suite, à la sole inclinée EE', un mouvement hélicoïdal alternativement ascendant et descendant. — F, cendrier à regard F'' et garniture f'. isolant I du feu. — D, grille circulaire à barreaux oscillants dd'. — LKl, circulation de pétrole et de vapeur à injection $l''l'''$.

qu'on ait, dit-on, à craindre le collage des fragments de houille.

L'air pénètre dans l'espace circulaire N, qui entoure le conduit M et arrive en M', où il est aspiré par l'injecteur O ; le mélange de gaz et de vapeur est ensuite refoulé dans la couche de combustible à travers la

petite grille centrale e' munie d'un tampon d'amiante E''. Le gaz s'échappe par le tuyau M, muni d'une fermeture hydraulique M'', après avoir cédé une partie de sa chaleur à l'air qui circule en N. L'injecteur puise sa vapeur dans la chaudière J, où l'eau circule dans des serpentins. Le combustible est amené par la trémie circulaire Q, munie de deux lèvres SS' disposées de manière à couper le charbon sans coincer. Des injections supplémentaires de vapeur se font par K ; on peut les compléter au besoin en injectant par Ll'' un mélange de vapeur et de pétrole, pour enrichir le gaz.

Les cendres s'écoulent entre la sole E' et la grille circulaire D, dont les panneaux d pivotent, en certains points, autour des axes d', pour faciliter le décrassage; elles tombent dans le cendrier F, muni d'un regard F'' et d'une garniture f' qui abrite le mécanisme placé à la partie inférieure.

Gazogène Bénier. — Ce gazogène est destiné à être employé avec le moteur à compression du même inventeur : il produit le gaz au fur et à mesure des besoins, de sorte que le gazomètre se trouve supprimé. Il n'y a pas non plus de scrubber, ni de générateur spécial pour la vapeur. Celle-ci est produite dans un tube cylindrique en fonte Z (fig. 51)[1], entouré par les barreaux circulaires G, qui constituent la grille du gazogène B.

Ce gazogène est formé de deux cylindres concentriques V et r, garnis de terre réfractaire t, et séparés par un espace annulaire de quelques millimètres. Le combustible est introduit par la chambre A, fermée à

1. Nous devons communication de la figure 51 à l'obligeance de M. Lockert, directeur du « Technologiste ».

ses deux extrémités, de sorte qu'on puisse toujours maintenir le gazogène clos, même pendant qu'on le recharge. La trappe inférieure *c* se manœuvre de l'extérieur, à l'aide de l'arbre tournant *d*; l'adhérence sur l'orifice est assurée par le ressort D.

La composition du mélange d'air et de vapeur introduit dans le gazogène est maintenue constante par le dispositif suivant. Un faible courant d'eau passe dans le cylindre Z, dont il maintient les parois à une température relativement basse : la vapeur produite, sous une pression de quelques centimètres d'eau, est conduite par le tube K dans un réservoir L, d'où le tube *l* l'amène dans une chambre de détente *m*, ouverte à sa partie inférieure. La vapeur prend ainsi la pression atmosphérique ; elle traverse les ouvertures *n* et se mélange avec l'air, appelé, sous la même pression, par l'orifice *o*. Le mélange passe ensuite dans la chambre annulaire *q* et descend entre les deux parois V et *r*, pour se rendre sous la grille G. Ce mélange est ainsi porté à une haute température avant de rencontrer la couche de combustible.

Le gaz produit, qui est aspiré dans le moteur par F, se lave d'abord en traversant un barillet. Pour cela, il s'échappe par *e*, et traverse l'espace annulaire ménagé autour d'un cylindre en métal mince E, qui plonge dans l'eau par sa base. Le liquide, qui arrive en R d'une façon continue, s'écoule en S dans la cuvette P, qui fait joint hydraulique, et sort par le trop-plein *p*.

Ce gazogène peut fonctionner longtemps sans arrêt : il suffit de faire faire à la grille un quart de tour toutes les heures pour décrasser complètement les barreaux circulaires, entre lesquels passent les dents

d'un peigne latéral. On voit en X et *y* la soupape et la cheminée servant pour l'allumage de l'appareil.

Carburation de l'air. — Une solution toute différente consiste à charger l'air d'hydrocarbures ; on obtient ainsi un gaz combustible qui, mélangé avec une certaine proportion d'air pur, devient capable de détoner, comme les gaz cités précédemment. Cette opération s'effectue au moyen de divers produits extraits du pétrole.

Éthers et huiles de pétrole. — Le pétrole est une huile minérale, qu'on extrait du sol dans différents pays. A l'état brut, il constitue une huile épaisse, visqueuse, brun foncé, dont la densité varie de 0,78 à 0,92, suivant son origine.

Le pétrole présente d'ailleurs de grandes différences, suivant sa provenance. Le pétrole de Rangoon, très riche en paraffine, est de couleur foncée et présente presque la consistance du beurre ; celui de Bakou, au contraire, est assez fluide et assez limpide pour pouvoir être employé directement à l'éclairage ; cette dernière variété est désignée d'ordinaire sous le nom de naphte. Le pétrole des îles de l'Océan Indien dégage des émanations sulfureuses, qui lui donnent une odeur nauséabonde, et doit être purifié par un traitement à la lessive de soude et à l'acide sulfurique. Le pétrole du Canada est plus foncé, plus visqueux et plus dense que celui de Pensylvanie et présente une odeur plus désagréable. Le pétrole d'Égypte, dont la densité atteint 0,935, ne contient pas de paraffine, ni les carbures qui forment les huiles les plus volatiles.

La composition du pétrole varie aussi avec son origine. Les pétroles d'Amérique sont formés surtout de carbures forméniques, tandis que ceux du Caucase et,

en particulier, de Bakou contiennent presque exclusivement des carbures éthyléniques ; enfin les pétroles de Galicie renferment des carbures des deux séries précédentes et aussi de la série benzénique.

A titre d'exemple, nous donnons ci-dessous la composition d'un pétrole américain, d'après Pelouze et Cahours.

Carbures forméniques des pétroles d'Amérique.

CARBURES	FORMULES	TEMPÉRATURE d'ébullition	DENSITÉ	VARIÉTÉS COMMERCIALES
Formène. . , ...	C^2H^4	Gazeux.	»	Gaz se dégageant des mines.
Hydrure d'éthylène.. . .	C^4H^6	Gazeux.	»	
— de propylène.. .	C^6H^8	Gazeux.	»	
— de butylène. . .	C^8H^{10}	0°	0,60	
— d'amylène.. . .	$C^{10}H^{12}$	31°	0,63	Éther de pétrole, $d = 0,65$, distillant de 45 à 70°.
— d'hexylène. . .	$C^{12}H^{14}$	68°	0,67	
— d'heptylème. . .	$C^{14}H^{16}$	92°-94°	0,69	Essence minérale, $d = 0,70$ à 0,74 ; distillant de 70° à 120°.
— d'octylène.. . .	$C^{16}H^{18}$	116°-118°	0,73	
— de nonylène. . .	$C^{18}H^{20}$	136°-138°	0,74	
— de décylène. . .	$C^{20}H^{22}$	158°-162°	0,76	Huile lampante, $d = 0,78$ à 0,81 ; distillant de 150° à 280°.
— d'undécylène.. .	$C^{22}H^{24}$	180°-182°	0,77	
— de duodécylène. .	$C^{24}H^{26}$	198°-200°	0,78	
— de tridécylène. .	$C^{26}H^{28}$	218°-220°	0,79	
— de tétradécylène..	$C^{28}H^{30}$	236°-240°	0,81	
— de pentadécylène.	$C^{30}H^{32}$	258°-262°	0,82	
— d'hexadécylène. .	$C^{32}H^{34}$	280°	»	
. . . .	. . .	. . . . .	. . .	Huile lourde, $d = 0,83$ à 0,92 ; distillant de 280° à 400° ; paraffine, etc.
. . . .	. . .	. . . . .	. . .	
. . . .	. . .	. . . . .	. . .	

Sauf le naphte le plus pur de Bakou, le pétrole brut n'est jamais employé directement. On lui fait subir d'abord une distillation fractionnée, qui le divise en plusieurs séries de produits, inégalement volatils, et qui conviennent à des usages différents.

Au-dessous de 70° passent les éthers de pétrole,

dont la densité est voisine de 0,65 ; ce sont des huiles légères, très inflammables et très dangereuses à manier.

Entre 70° et 120°, on recueille encore des huiles légères, mais moins volatiles. Ces produits, appelés *essence de pétrole, essence minérale, gazoline, ligroïne, naphte,* ont une densité d'environ 0,70 et sont encore assez dangereux.

De 120° à 280° se dégagent des carbures moins inflammables et moins dangereux, ayant une densité moyenne de 0,80, appelés *huile lampante de pétrole* (*kérosène, photogène,* etc.) ; c'est la partie la plus importante du pétrole.

Au delà de 280° et jusqu'à 400°, passent les *huiles lourdes*, en même temps que la *paraffine*. Les *goudrons* restent dans la cornue. Parmi ces produits, ceux du second et du troisième groupe, et quelquefois même les huiles lourdes, sont employés pour carburer l'air destiné à actionner les moteurs.

On peut carburer l'air, soit par les éthers de pétrole, soit par les huiles de pétrole servant à l'éclairage.

Carburation par les éthers de pétrole. — La première opération consiste à saturer l'air de vapeurs de ces hydrocarbures, ce qui peut se faire à froid ou à chaud.

Dans le premier cas, on fait barboter l'air dans une couche d'éthers de pétrole de faible densité ; mais, ces éthers étant composés d'éléments divers, inégalement volatils, il est évident que les substances les plus volatiles sont entraînées les premières, de sorte que le gaz obtenu est de moins en moins riche. De plus, le froid produit par l'évaporation est défavorable à la saturation et le gaz peut entraîner des matières con-

tenues dans les essences et qui, en brûlant, produiront dans le cylindre un dépôt épais et nuisible.

Pour remédier à ces inconvénients, on peut n'employer qu'une faible quantité de liquide, présentant une grande surface d'évaporation, et qu'on renouvelle fréquemment, de façon à maintenir constantes et la densité du liquide et les pressions de l'air et du gaz. Quant aux matières étrangères contenues dans les éthers de pétrole, quelques inventeurs les enlèvent en faisant passer ces substances dans l'eau, chaude ou froide.

Le plus souvent, on emploie la gazoline, de densité 0,650, qui est très volatile et très inflammable ; cette substance, qui ne se trouve pas dans toutes les localités, donne en outre un gaz de qualité un peu variable. L'essence minérale, de densité 0,700, est un peu moins volatile et moins inflammable, de sorte qu'elle nécessite souvent l'intervention de l'échappement pour la carburation de l'air ; mais on a l'avantage de pouvoir se la procurer très facilement.

Les carburateurs à froid opèrent par aspiration ou par refoulement. Dans l'appareil de M. Faignot, un compteur d'appel, actionné par un mécanisme de tourne-broche, aspire l'air, qui traverse des caisses rectangulaires à grande surface, divisées en plusieurs étages par des claies poreuses, et qui contiennent la gazoline ; on ouvre les caisses alternativement, pour maintenir la richesse constante et obtenir une carburation méthodique. Le gaz est ensuite refoulé dans un gazomètre.

Dans l'appareil de M. Rouillé, le mécanisme se compose simplement d'une sorte d'injecteur Giffard. L'hydrocarbure est chauffé dans une petite cornue.

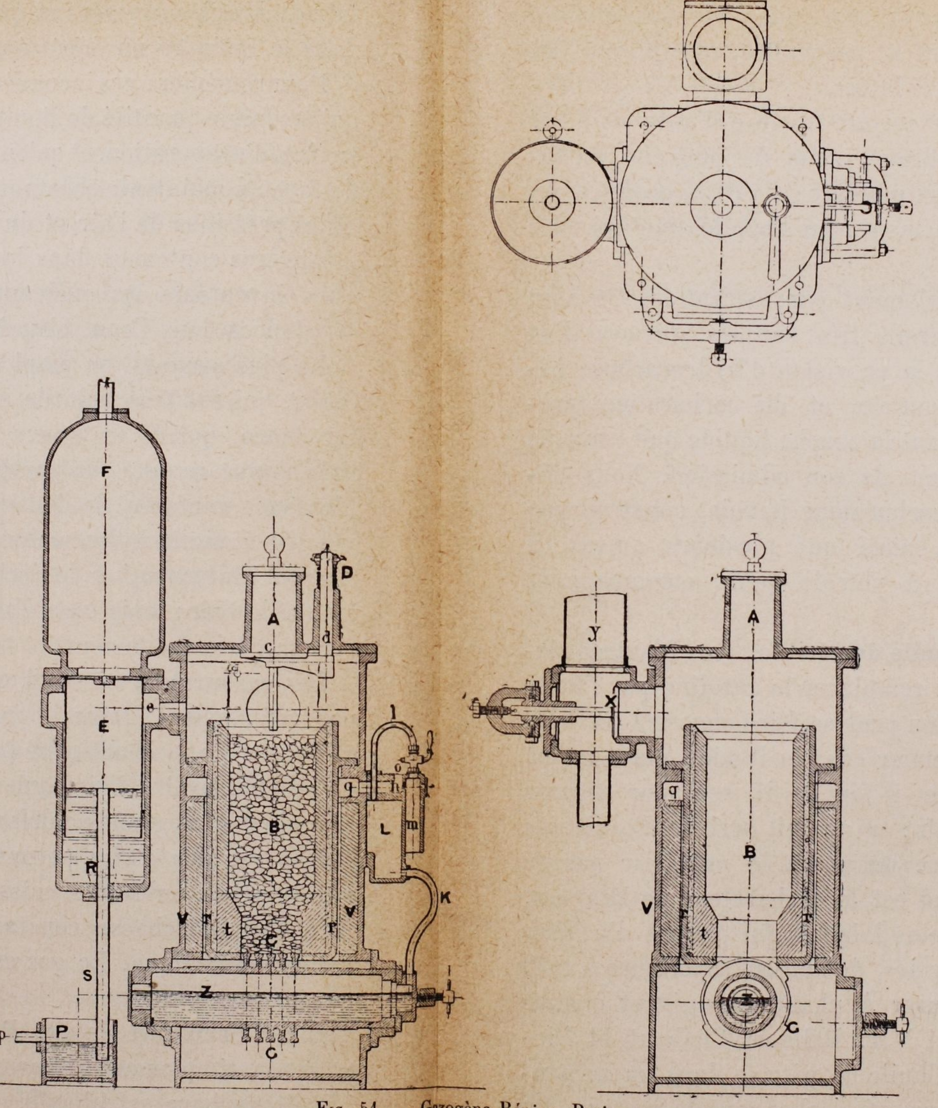


Fig. 51. — Gazogène Bénier, Paris.

Les vapeurs s'échappent, par une ouverture étroite, dans un conduit allant au gazomètre, et aspirent l'air extérieur par un orifice latéral.

Ces appareils et un certain nombre d'autres ont été imaginés pour l'éclairage, mais ils peuvent parfaitement s'appliquer aux moteurs ; d'autres modèles ont été construits spécialement pour l'application qui nous occupe.

Ils opèrent généralement par aspiration. Ce sont d'ordinaire des appareils très simples, formés d'un réservoir, qui reçoit la provision d'hydrocarbure nécessaire pour une journée, et du carburateur proprement dit, renfermant la couche liquide que traverse l'air aspiré au moment de son admission. Nous décrirons plus loin le carburateur Lenoir, construit par MM. Rouart frères, ainsi que plusieurs autres, à propos des moteurs à pétrole qu'ils accompagnent ordinairement.

Carburation par l'huile de pétrole. — D'autres inventeurs ont songé à remplacer la gazoline par l'huile de pétrole : l'opération peut se faire encore à froid ou à chaud. Dans le premier cas, le liquide étant moins volatil que la gazoline, il faut le diviser pour assurer la carburation de l'air : on le fait arriver d'ordinaire sur des matières poreuses et on le pulvérise par un fort courant d'air : tel est le carburateur de Brayton, que nous décrirons plus loin, et qui permet d'utiliser même des huiles lourdes, de densité supérieure à 0,8. On peut aussi carburer à chaud en opérant comme avec l'essence. Ainsi MM. Belmont-Chabout et Diederichs font passer l'huile de pétrole dans un serpentin chauffé par les gaz qui s'échappent du moteur. La

vapeur s'échappe par un orifice étroit et aspire l'air qui se mélange avec elle. Ce système a un inconvénient : au moment de la mise en train, on est obligé de se servir de gazoline, jusqu'à ce que le serpentin soit porté à une température suffisante. Ce défaut est évité dans d'autres dispositifs, par exemple dans celui de M. Ragot[1].

1. Voy. Riche et Halphen, *Le Pétrole*. Paris, 1896.

CHAPITRE IV

ÉTUDE GÉNÉRALE DES MOTEURS A GAZ

Classification. — Moteurs du premier type, du second type, du troisième type, du quatrième type. — Classification des moteurs au point de vue de la construction. — Moteurs horizontaux, verticaux. — Moteurs à double effet, à simple effet. — Moteurs aux gaz pauvres. — Moteurs à air carburé.

Classification. — Ces moteurs peuvent être divisés, d'après M. A. Witz[1], en quatre groupes distincts.

1er type : moteurs à explosion sans compression ;

2e type : moteurs à explosion avec compression ;

3e type : moteurs à combustion avec compression ;

4e type : moteurs atmosphériques et mixtes.

Moteurs du premier type. — C'est à cette catégorie qu'appartenaient les premiers moteurs. Le piston, partant en avant, aspire, à peu près jusqu'à la moitié de sa course, un mélange d'air et de gaz, sous la pression atmosphérique ; le cylindre se ferme alors, et l'allumage, puis l'explosion, se produisent. La pression qui se développe agit sur le piston et lui fait achever sa course ; le piston revient ensuite en arrière et chasse dans l'atmosphère les produits de la com-

1. A. Witz, *Traité théorique et pratique des moteurs à gaz*. Paris, 1892.

bustion. Ces opérations se reproduisent périodiquement et forment le cycle du moteur : on voit qu'elles comprennent :

1° Admission du mélange sous la pression atmosphérique ;

2° Explosion du mélange à volume constant ;

3° Détente ;

4° Refoulement et échappement des produits de la combustion dans l'atmosphère.

Le moteur peut être d'ailleurs à simple ou à double effet, c'est-à-dire que l'ensemble des opérations précédentes peut se produire d'un seul côté du piston ou des deux côtés. Les premiers appareils construits étaient à double effet ; mais, depuis, on a préféré la disposition à simple effet.

Du reste, ce type tend à disparaître ; on préfère ordinairement les moteurs à compression ; le mécanisme est un peu plus compliqué, mais cet inconvénient est compensé par une marche plus économique. On ne construit plus que quelques moteurs de ce genre, comme les moteurs Bénier et Economic Motor.

Moteurs du second type. — Dans ces appareils, au lieu d'enflammer le mélange à la pression atmosphérique, aussitôt après l'avoir aspiré, on le comprime d'abord à 3 ou 4 atmosphères et on le fait détoner sous le volume réduit qu'il occupe alors.

Le cycle comprend donc les opérations suivantes :

1° Admission du mélange sous la pression atmosphérique ;

2° Compression du mélange ;

3° Explosion du mélange à volume constant ;

4° Détente ;

5° Refoulement et échappement des gaz dans l'atmosphère.

Ce type peut se subdiviser en trois groupes :

A. *Moteurs à deux temps.* — Un certain nombre d'inventeurs ont cherché à obtenir une explosion à chaque tour, d'un même côté du piston, afin d'avoir un mouvement plus régulier : mais on est obligé pour cela d'employer plusieurs cylindres, dont l'un seulement est moteur : les autres servent à refouler le mélange, soit directement, soit à travers un ou deux réservoirs, dans le premier cylindre, où il est comprimé et allumé. Ces appareils, dont le type le plus connu est le moteur Dugald Clerk, ne semblent pas en faveur actuellement, à cause de la complication du mécanisme, qui a de plus pour effet d'accroître ce qu'on nomme l'espace nuisible.

B. *Moteurs à quatre temps.* — Ces appareils, qui se répandent de plus en plus, ont pour type le moteur Otto ; toutes les opérations s'accomplissent dans un seul cylindre et, comme une course est réservée à chacune d'elles, on n'a qu'une explosion tous les deux tours, d'un même côté du piston. Ce dispositif est plus simple : c'est ce qui le fait préférer ; il est vrai qu'il donne une régularité un peu moins parfaite, inconvénient auquel on pourrait remédier par l'adjonction d'un second cylindre moteur.

C. *Moteurs à six temps.* — Ces moteurs sont peu nombreux ; le cycle entier s'accomplit encore dans un même cylindre, ainsi que dans le groupe précédent ; mais on a ajouté deux courses supplémentaires, servant à aspirer et à refouler une charge d'air pur.

Moteurs du troisième type. — Au lieu de faire dé-

toner brusquement le mélange, à volume constant, on le fait brûler graduellement, de telle sorte que la pression reste constante. Les autres opérations ne sont pas modifiées, et le mélange peut encore être comprimé, de sorte que le cycle comprend :

1° Admission du mélange sous la pression atmosphérique ;

2° Compression du mélange;

3° Combustion du mélange sous pression constante ;

4° Détente ;

5° Refoulement et échappement des produits de la combustion dans l'atmosphère.

Ce type comporte le plus souvent deux cylindres, l'un moteur, l'autre compresseur ; il se construit peu actuellement. Cependant, d'après M. A. Witz, il ne le cède guère au type précédent, surtout quand on comprime fortement le mélange ; or, ici, une grande compression est sans inconvénient, puisque la pression du mélange n'augmente pas par la combustion, comme cela a lieu dans les machines à explosion. Ces machines sont un peu compliquées, mais présentent une grande douceur de fonctionnement ; elles paraissent avoir des chances d'avenir dans le cas des grandes puissances, l'adjonction d'un compresseur ne constituant alors qu'une dépense négligeable.

Moteurs du quatrième type. — Dans quelques moteurs, le piston est rendu indépendant au moment de l'explosion et n'entraîne l'arbre moteur que pendant sa descente, qui s'effectue sous l'action de la pression atmosphérique. Le mélange est aspiré pendant le tiers de l'ascension ; l'explosion se produit alors et lance le

piston jusqu'au haut du cylindre, d'où il redescend ensuite en refoulant le mélange et en l'expulsant.

Ces moteurs, dits *atmosphériques,* sont complètement abandonnés aujourd'hui. On peut signaler un intéressant projet, non encore construit, de M. Vermand, dans lequel la marche a été perfectionnée par l'adjonction d'une compression préalable.

On construit au contraire beaucoup de petits moteurs mixtes, dans lesquels la pression due à l'explosion agit comme force motrice pendant l'ascension et la pression atmosphérique pendant la descente. Ces appareils sont donc à double effet, mais les deux actions contraires sont inégales.

On place souvent ces moteurs à côté de ceux du premier type, leur cycle présentant de grandes analogies. L'ensemble des opérations comprend :

1° Aspiration du mélange sous la pression atmosphérique ;

2° Explosion à volume constant (en course libre pour les moteurs atmosphériques) ;

3° Détente ;

4° Refoulement du piston par l'atmosphère en course motrice ;

5° Refoulement et échappement des produits de la combustion dans l'atmosphère.

Le tableau suivant, que nous empruntons à M. Witz, montre bien la suite des opérations qui se succèdent derrière le piston, dans les moteurs des quatre types énumérés ci-dessus, et présente synoptiquement les transformations subies par les gaz, avant et après leur combustion.

1er TYPE	2e TYPE	3e TYPE	4e TYPE
1° Aspiration du mélange sous la pression atmosphérique.	1° Aspiration du mélange sous la pression atmosphérique.	1° Aspiration du mélange sous la pression atmosphérique.	1° Aspiration du mélange sous la pression atmosphérique.
	2° Compression du mélange.	2° Compression du mélange.	
2° Explosion à volume constant.	3° Explosion à volume constant.	3° Combustion à pression constante.	2° Explosion à volume constant en course libre.
3° Détente.	4° Détente.	4° Détente.	3° Détente.
			4° Refoulement du piston par l'atmosphère en course motrice.
4° Refoulement et échappement des produits de la combustion.	5° Refoulement et échappement des produits de la combustion.	5° Refoulement et échappement des produits de la combustion.	5° Refoulement et échappement des produits de la combustion.

Classification au point de vue de la construction. — Au lieu de classer les moteurs d'après leur cycle, on peut les diviser, d'après leur construction, en deux groupes, les moteurs verticaux et les moteurs horizontaux.

Moteurs horizontaux. — Cette forme est la plus employée au-dessus de 1 cheval ; elle est presque seule en usage à partir de 10 chevaux. Les moteurs horizontaux sont généralement plus lourds et plus volumineux que les moteurs verticaux, et aussi plus coûteux, surtout à cause de l'addition d'un socle. Ce socle reçoit un bâti en fonte sur lequel le cylindre est ordinairement placé en porte-à-faux, et qui porte en outre tous les organes accessoires.

Le mouvement est le plus souvent transmis à l'arbre de couche par une glissière et une bielle, surtout lorsque la partie antérieure du piston sert de pompe de compression: cependant la bielle est quelquefois articulée directement sur le piston. Les organes accessoires sont généralement groupés à l'arrière du cylindre et commandés par un arbre auxiliaire, recevant son mouvement de l'arbre de couche.

Moteurs verticaux.— Ces moteurs sont plus simples, plus compacts et moins lourds que les précédents ; ils sont plus faciles à conduire et à surveiller, et d'un graissage moins coûteux, à cause de la position du cylindre. Cette disposition est surtout employée au-dessous de 4 chevaux ; elle se fait cependant aussi au-dessus de cette limite. A partir de 10 chevaux, on emploie deux cylindres, parallèles ou légèrement inclinés. Dans le premier cas, les pistons agissent sur un arbre doublement coudé ; dans le second, ils attaquent un même coude de l'arbre moteur.

Le plus souvent, le cylindre est à la partie inférieure ; le piston sert généralement de glissière, et la bielle est articulée sur lui. Les organes accessoires sont autour de la base, qui sert en même temps de pot d'aspiration pour l'air.

Le cylindre se trouve parfois à la partie supérieure de la machine ; il peut transmettre le mouvement à l'arbre de couche, supporté aussi par le bâti, au moyen d'un balancier placé près du sol et de deux bielles reliées, l'une au piston, l'autre à l'arbre.

Quelques inventeurs ont adopté le type pilon, surtout pour les machines destinées à la navigation.

Moteurs à double effet. — Les premiers moteurs à

gaz, ceux de Lenoir et de Hugon, étaient à double effet : l'action explosive se produisait alternativement sur les deux faces du piston, à des intervalles déterminés. Lorsqu'on adopte cette disposition pour les moteurs sans compression, on a une explosion par tour sur chacune des faces du piston ; pour les moteurs à compression, on peut n'avoir une explosion sur chaque face que tous les deux tours (moteurs à quatre temps), ou même tous les trois tours (moteurs à six temps).

Ce système rend évidemment la machine plus légère et moins volumineuse ; la marche est douce, régulière, silencieuse ; mais on rencontre en revanche de graves inconvénients. Tout d'abord, les parois s'échauffent beaucoup plus, de sorte que le poids de gaz employé et le volume d'eau nécessaire pour le refroidissement deviennent beaucoup plus considérables. La quantité d'huile utilisée pour le graissage augmente également. Ainsi, dans le moteur Lenoir primitif, la consommation de gaz était supérieure à 2000 litres par cheval-heure ; la quantité d'eau variait de 120 à 150 litres et la quantité d'huile était d'environ 50 grammes. La perte de chaleur par les parois s'est élevée dans une de ces machines, d'après les essais de M. Tresca, à 85 0/0 de la chaleur de combustion du gaz.

En outre, on est obligé de munir la tige du piston de garnitures qui, se trouvant exposées à de hautes températures, nécessitent, pour éviter les fuites, une grande surveillance et un serrage qui nuit au bon fonctionnement.

Ces inconvénients sont atténués dans les moteurs à compression et surtout dans ceux à six temps ; dans ces derniers, en effet, deux courses sont utilisées pour

faire passer dans le cylindre une charge d'air qui balaye les gaz brûlés et refroidit en même temps les parois; aussi le dispositif à double effet n'est-il plus guère en usage que dans cette dernière classe de moteurs (type Griffin).

Moteurs à simple effet. — Quoique l'on obtienne des résultats relativement satisfaisants avec les machines à six temps à double effet, les inconvénients résultant de la garniture de la tige du piston et de la complication de ces moteurs font préférer généralement les appareils à simple effet, dans lesquels l'explosion agit toujours sur la même face du piston, et qui, si elles sont plus lourdes, plus volumineuses et moins régulières dans leur marche, ont le grand avantage d'être plus simples et de consommer moins de gaz, moins d'eau et moins d'huile. Ainsi, dans certains moteurs à simple effet d'une puissance inférieure à 10 chevaux, la consommation de gaz est inférieure à 600 litres par cheval-heure ; celle de l'eau a pu être abaissée à 20 litres, et celle de l'huile à 5 grammes; enfin la perte de chaleur par le réfrigérant peut être inférieure à 20 0/0. Chaque moteur possède évidemment ses qualités particulières et ne réunit jamais tous les avantages précédents; mais les résultats moyens ne dépassent pas notablement les chiffres ci-dessus. Ces avantages proviennent en partie de ce que l'air pénètre dans le cylindre à chaque course arrière et refroidit les parois intérieures et l'une des faces du piston.

Moteurs aux gaz pauvres. — Les moteurs qui doivent être alimentés aux gaz pauvres exigent quelques modifications. Le gaz Dowson, par exemple, contenant environ 50 0/0 d'azote, n'a qu'un pouvoir calorifique égal

au quart ou au cinquième de celui du gaz d'éclairage; mais, comme il n'exige qu'une fois ou une fois et demie son volume d'air, il s'ensuit que, à égalité de volume du cylindre, la puissance ne sera presque pas diminuée. Malgré cela, des modifications sont nécessaires : ainsi la prise d'air doit être diminuée et l'orifice d'admission du gaz doit être agrandi. Pour assurer l'allumage et obtenir un bon fonctionnement, on est obligé de chasser complètement les produits de la combustion et de comprimer plus fortement. La consommation d'eau est à peu près la même.

Moteurs à air carburé. — Il n'existe pas de type défini de moteur à pétrole; on peut très bien employer un moteur à gaz relié avec un carburateur quelconque. Cependant les modèles actuels présentent les caractères suivants. Ils sont ordinairement à compression et à quatre temps; le moteur Brayton fait exception et appartient au troisième type. Cette disposition est peut-être due à ce que les moteurs à pétrole ne sont guère entrés dans la pratique qu'après le succès constaté des machines à quatre temps. En outre, avec un carburateur d'aspiration, la pression dans le cylindre ne serait pas suffisante sans compression. Enfin, dans les moteurs du premier type, l'allumage est généralement produit par une flamme, et ce système ne peut pas être employé ici, à cause des dangers d'incendie et d'explosion, et aussi parce que les flammes produites par l'air carburé encrassent plus rapidement les ouvertures et chauffent plus vite les pièces que celles données par le gaz de houille. Aussi n'emploie-t-on pour l'allumage qu'un tube incandescent ou une étincelle électrique. L'étincelle peut d'ailleurs être produite par une bobine d'in-

duction, ou par une petite machine magnéto, commandée par le moteur, et dont on utilise l'extra-courant de rupture : la bobine peut être excitée, soit par une pile, soit par une petite machine magnéto ou dynamo, mue par le moteur.

Pour les raisons indiquées plus haut, les organes de distribution doivent être simples, peu susceptibles de s'échauffer et de s'encrasser, faciles à visiter et à réparer. C'est pourquoi on a abandonné généralement le tiroir et adopté l'emploi des soupapes.

A égalité de dimensions, la puissance est supérieure à celle qu'on obtient avec le gaz d'éclairage, la température d'explosion étant plus élevée. La consommation d'eau est à peu près la même.

Ces moteurs exigent plus de soin que les machines à gaz et doivent être graissés davantage ; les dépôts obligent à nettoyer souvent les pistons, les cylindres et les autres organes. Il faut aussi agir souvent sur le robinet de prise d'air pur, la richesse du mélange admis variant fréquemment sans cause apparente.

CHAPITRE V

OPÉRATIONS ACCESSOIRES DES MOTEURS A GAZ

Mise en train : moteurs du premier type ; moteurs à compression. — Self-starters. — Mise en marche des moteurs polycylindriques. — Graissage. — Epuration de l'huile de graissage : appareil Ducretet. — Poches de caoutchouc. — Antifluctuateurs.

Nous n'insisterons pas ici sur les dispositifs servant à produire la distribution et l'allumage, ainsi que sur les régulateurs ; il nous paraît préférable de décrire les plus intéressants de ces organes avec les moteurs correspondants. Mais nous dirons quelques mots des précautions nécessitées par la mise en train et le graissage.

Mise en train. — Pour mettre en marche une machine à vapeur, il suffit d'ouvrir un robinet : le fluide, pénétrant d'un côté du piston, le pousse, et les organes de distribution se mettent à fonctionner. Avec les moteurs à gaz, la question est plus délicate : il faut, en effet, pour actionner le piston, non seulement admettre une première charge de mélange tonnant, mais encore le faire détoner, afin de communiquer au piston une première impulsion motrice. Pour aspirer le mélange, il suffit de faire tourner le volant à la main, mais il est plus difficile de produire l'allumage : il faut d'abord que les appareils destinés à cette opération soient réglés avec soin, et, de plus, l'explosion d'un mélange pauvre, entre des parois froides, peut rater plusieurs fois. Il y a donc là une difficulté nui-

sible à l'extension des moteurs à gaz, et l'on doit prendre toutes les précautions pour l'éviter.

Disposition des robinets. — Il importe d'abord de disposer convenablement et de bien manœuvrer les

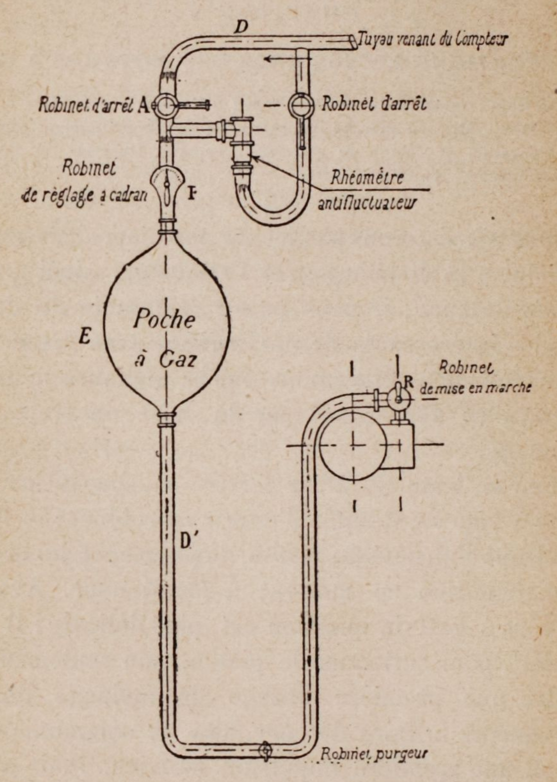


Fig. 52. — Disposition des robinets, moteur Lenoir (Cie du gaz.)

robinets. La figure 52, relative à un moteur Lenoir, nouveau type, montre une disposition qui peut convenir à tous les moteurs. Le tuyau D, qui vient du compteur, donne d'abord naissance à un embranchement, non

figuré, qui se rend au bec d'allumage, lorsque l'allumage n'est pas électrique ; cet embranchement porte un robinet qui sert à régler l'écoulement du gaz.

Le tuyau D porte ensuite, dans tous les cas, un robinet d'arrêt A, une poche à gaz E et un robinet de mise en train R. Le robinet d'arrêt doit être à portée de la main. L'installation représentée porte en outre un robinet à cadran F, qui sert à régler l'admission du gaz, et un rhéomètre antifluctuateur, que nous décrirons plus loin et qui est destiné à empêcher l'oscillation de la lumière dans les becs d'éclairage voisins du moteur. Si ce rhéomètre vient à se trouver endommagé, on ferme le robinet qui l'alimente et on fait arriver le gaz directement dans la poche. Le robinet F ne doit jamais être complètement ouvert pendant la marche, de façon que la poche ne soit jamais entièrement gonflée, mais accuse un mouvement de respiration bien marqué. Dans ces conditions, l'aspiration du moteur se fait dans la poche et non directement dans la conduite, de sorte qu'on évite de troubler les éclairages voisins.

Mise en marche des moteurs du premier type. — Pour les moteurs sans compression, ou ouvre d'abord le robinet d'arrêt et celui d'allumage, s'il y en a un, puis on allume le brûleur. On ouvre très peu le robinet de mise en train, afin de ne pas introduire un mélange trop riche en gaz pour s'enflammer ; enfin on saisit le volant et on lui fait faire deux ou trois tours rapidement. On règle ensuite le brûleur.

Si les tuyaux sont disposés comme sur la figure précédente, on ouvre d'abord le robinet du compteur et les robinets A et F, afin de remplir la poche à gaz

à peu près aux trois quarts. On ferme alors le robinet F et l'on ouvre R; puis on allume le brûleur ou l'on excite le courant électrique et l'on donne une vive impulsion au volant. Quand le moteur est en marche, on rouvre partiellement le robinet F.

Mise en marche des moteurs à compression. — Dans les moteurs où le mélange gazeux est comprimé avant l'allumage, la mise en train est plus difficile, puisqu'il faut fournir au volant la force vive nécessaire pour opérer l'aspiration et la compression, et que l'explosion ne peut se produire que tous les deux coups.

Certains moteurs sont disposés pour faciliter la mise en train; on peut aussi se servir de démarreurs automatiques appelés *self-starters*.

Dans le moteur Otto, on facilite l'opération en supprimant la compression au début de la marche. Pour cela, la came de décharge B (fig. 66) peut être déplacée à la main au moyen d'un levier *e*, au moment de la mise en train; une double saillie actionne alors le levier D et ouvre la soupape *s* deux fois par cycle au lieu d'une, c'est-à-dire au moment de la compression et au moment de la décharge; la compression se trouve donc supprimée. Ce dispositif a été imité dans un grand nombre d'autres appareils.

Dans tous les moteurs, on facilite la mise en train en ayant soin que la machine n'ait, pendant cette période, aucune transmission à entraîner, c'est-à-dire en laissant, pendant ce temps, toutes les courroies sur les poulies folles.

Self-starters. — Quelques inventeurs ont combiné des appareils spéciaux, qui produisent automatiquement la mise en marche du piston, en évitant les ma-

nœuvres pénibles indiquées plus haut. M. Clerk a imaginé un *self-starting attachment* qui peut s'appliquer à tous les moteurs : avant d'arrêter la machine, on lui fait comprimer, dans un réservoir en fer forgé, une quantité de mélange explosif, à 5 kilogrammes environ, suffisante pour une dizaine de mises en train. Lorsqu'on veut, par exemple le lendemain, remettre l'appareil en marche, on fait arriver dans le cylindre ce mélange, qui agit d'abord par sa pression, puis par sa force explosive, pour faire effectuer au volant ses premiers tours.

Remarquons d'ailleurs qu'il n'est pas absolument sans danger de comprimer ainsi dans un réservoir une certaine quantité de mélange tonnant, l'explosion pouvant peut-être se propager jusque-là. Aussi certains inventeurs préfèrent accumuler seulement une provision d'air, qui agit uniquement par sa pression pour produire la pression motrice.

M. de Kabath dispose sur l'arbre de couche un treuil à cliquet, dont le poids est remonté par une vis sans fin. Pour mettre en marche, il suffit de dégager la vis du treuil ; ce dernier, entraîné par le poids, se met à tourner et communique son mouvement à l'arbre et au volant.

Le moteur Crossley est muni du self-starter de Lanchester, qui est très simple et n'exige qu'un tour de main facile à acquérir. On arrête le piston au milieu de la course de travail, et l'on introduit, à l'aide d'un robinet spécial, une charge de mélange tonnant, qui est enflammée par un petit brûleur, placé sur le dessus du cylindre, et qui ne reste allumé que pendant la mise en marche.

MM. Delamarre-Deboutteville et Malandin arrêtent

le piston dans la position qui correspond à la fin de la compression, mais laissent échapper le mélange par une fuite ménagée dans la soupape d'échappement, de sorte qu'il n'y ait pas réellement de compression. On introduit alors par un robinet spécial un mélange tonnant, qu'on aspire et qu'on comprime ensuite légèrement en faisant d'abord avancer le piston d'une demi-course, puis le faisant reculer légèrement. On fait alors jaillir l'étincelle et l'explosion met le moteur en train.

A partir de 12 chevaux, le moteur « Le Triomphe » est muni d'un appareil de mise en marche automatique, qui dispense de tourner le volant à bras : l'allumage se produit automatiquement dès qu'un mélange tonnant est formé. Pour cela, on arrête le moteur avec la tête de bielle un peu au-dessus du centre, le piston étant au point qui correspond à l'allumage. Le gaz arrivant sous pression chasse une partie de l'air contenu dans le cylindre, et, au bout d'une demi-minute, un mélange tonnant est formé. Le tube incandescent allume la charge, l'explosion a lieu et le piston se met en marche.

Mise en marche des moteurs polycylindriques. — Dans ces moteurs, le self-starter est généralement inutile ; plus les cylindres sont nombreux, plus il y a de chances qu'il s'en trouve toujours un à peu près dans une position convenable pour le départ, quelle que soit la position d'arrêt.

Graissage. — Le graissage constitue l'une des premières difficultés qui aient arrêté l'essor des moteurs à gaz. Il faut en effet que le cylindre soit parfaitement lubrifié et que cependant la dépense causée par le graissage ne soit pas trop considérable.

« Dans un cylindre de moteur à gaz, la température de la paroi métallique est moins élevée que dans une machine à vapeur, puisqu'elle n'atteint pas 100° ; mais, à chaque explosion, une flamme, dont on peut évaluer la température à 1200°, balaye le cylindre et brûle le lubrifiant, qui est mauvais conducteur du calorique ; il se forme un cambouis sec, dur, adhérent, carbonisé, qui ronge le métal et le corrode rapidement. Dans le cylindre à vapeur, l'eau de condensation adoucit le frottement ; dans le cylindre à gaz tonnant, toute la tâche incombe à l'huile, qu'il faut prodiguer à chaque cylindrée. On recueille par la décharge un liquide noir, épais, dans lequel on trouve des poussières métalliques, du fer et du cuivre, et des particules charbonneuses.

« On n'évite le grippement qu'au prix d'un afflux d'huile incessant, qui lave les surfaces et entraîne les concrétions charbonneuses et métalliques fixées sur le métal.

« Que faudrait-il pour parer à ces graves inconvénients ? On devrait trouver une substance lubrifiante, incombustible et inaltérable. C'est, il est vrai, la pierre philosophale dans l'espèce ; en effet, les gaz, qui réduisent considérablement les frottements, ne peuvent rester interposés entre des surfaces en contact ; l'eau est elle-même trop fluide ; les seules matières pratiquement utilisables sont les corps gras, dont la viscosité entre en jeu ; or, les corps gras sont tous combustibles. Toutefois il y a un choix à faire entre ces substances [1]. »

1. A. Witz, *Traité théorique et pratique des moteurs à gaz*. Paris, 1892.

C'est parmi les huiles minérales qu'on trouve les produits les plus satisfaisants. On les extrait, par une nouvelle distillation, des goudrons et des huiles lourdes, qui restent après l'extraction des huiles lampantes ou kérosènes. Ces produits sont épurés par un traitement à l'acide sulfurique et à la soude et un refroidissement au-dessous de zéro ; on comprime ensuite la masse solidifiée et l'on obtient une huile dont la densité varie de 0,865 à 0,930. Cette huile, qui est onctueuse, opaque, d'une couleur brun clair, se vend sous les noms variés de Vulcan, Phœnix, Eclipse, Glob-oil, huile de l'Etoile, néoline, valvoline, oléo-naphte, etc.

Épuration de l'huile de graissage. — Les produits que nous venons d'indiquer lubrifient parfaitement et ne sont pas d'un prix très élevé. Il y a cependant un grand avantage à recueillir l'huile qui sort des machines et à l'épurer, de manière à pouvoir la faire servir de nouveau. Un des meilleurs appareils pour cet usage est le filtre de M. Ducretet (fig. 51) : la partie essentielle est un tube perforé TS, autour duquel on enroule, à la main, un large ruban filtrant, en coton, qu'on maintient au moyen d'un ruban de toile d'environ 12 millimètres de largeur. Ce tube est monté à vis sur la pièce B*o*, qui se fixe à son tour à la partie supérieure du réservoir H. Le tout est entouré d'un bain-marie BM, rempli d'huile de colza, qui sert indéfiniment et peut être en outre recouvert au besoin d'une enveloppe de feutre. L'appareil se fixe ordinairement, par des brides de serrage, contre le tube d'échappement, de manière à le maintenir à une température suffisante.

L'huile à filtrer est introduite dans le réservoir R ;

un décanteur conique D, placé au centre, arrête les impuretés volumineuses et laisse passer le liquide par les orifices *d*, situés à la périphérie. Le liquide arrive ainsi en H, où l'air qu'il contient est expulsé par T′,

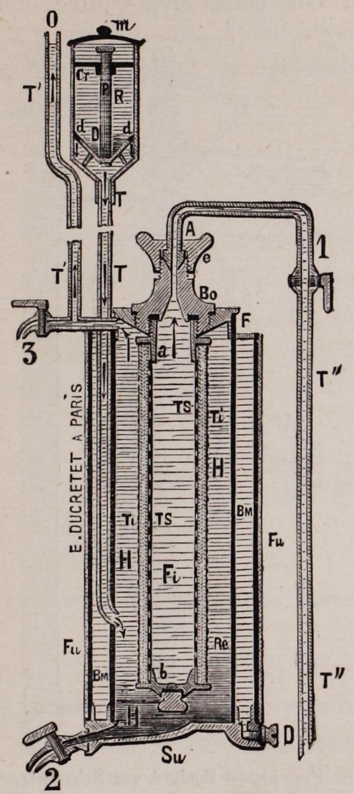


Fig. 53. — Filtre pour l'épuration des huiles (Ducretet).

traverse le filtre F*i* et sort par A. 2 est un robinet de vidange, 3 un robinet de vidange facultatif du tube T′.

L'appareil possède deux tubes filtrants ; pendant que

l'un est en service, l'autre est mis à tremper dans l'huile, où il se nettoie.

L'huile sort de ce filtre parfaitement limpide, avec une légère coloration brune, et peut servir à peu près indéfiniment. On peut même dire, comme le fait

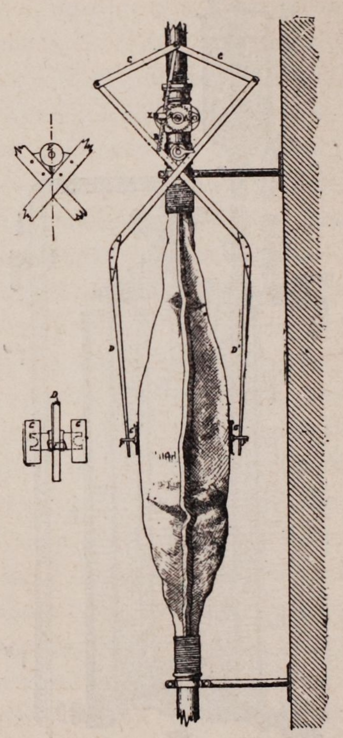


Fig. 54. — Poche à gaz Schrabetz.

remarquer M. Witz, qu'elle s'améliore peu à peu, car les produits volatils, qui graissent mal, s'éliminent dans le moteur, et les matières lourdes, vaselines, paraffines, goudrons, etc., sont retenues par le filtre.

Poches de caoutchouc. — On place toujours, ainsi que nous l'avons dit plus haut, sur le tuyau de gaz qui se rend au moteur, une poche de caoutchouc, qui empêche l'aspiration de s'étendre jusque dans les conduites. M. Witz conseille de donner à cette poche un volume égal à 25 fois celui d'une aspiration ; cette dimension suffit parfaitement et dispense de tout appareil plus dispendieux.

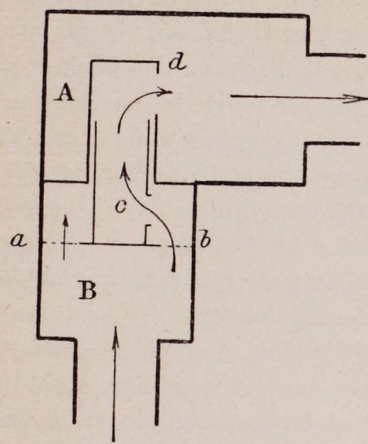


Fig. 55. — Rhéomètre antifluctuateur de la Compagnie du gaz.

Les robinets doivent être réglés de façon que la poche ne soit jamais complètement gonflée. M. Schrabetz produit ce réglage automatiquement au moyen d'un losange articulé, dont les bras prolongés appuient sur la panse de l'appareil, tandis que l'autre extrémité manœuvre le robinet et le ferme d'autant plus que la poche est plus gonflée (fig. 54).

Antifluctuateurs. — On peut toujours, en employant des poches, un tuyau et un compteur de grand volume,

éviter les effets produits par l'aspiration d'un moteur sur les becs d'éclairage placés près de lui. Mais ce système est quelquefois assez coûteux et l'on trouve plus économique de se servir d'un appareil destiné à empêcher les abaissements de pression et qu'on nomme antifluctuateur.

Le rhéomètre antifluctuateur de la Compagnie parisienne du gaz se compose d'un obturateur de forme particulière, formant soupape. L'appareil est divisé en deux chambres A et B (fig. 55) ; le gaz, pour se rendre au moteur, suit la direction des flèches et traverse le diaphragme *ab,* percé de trous. Sur ce diaphragme repose l'obturateur en aluminium, qui a la forme d'un cylindre, très mobile et très léger, et glisse à frottement doux dans un cylindre fixe. Le gaz pénètre dans l'obturateur en *c* et s'échappe en *d*. Sous l'influence de l'aspiration du piston, le diaphragme *ab* se soulève, l'obturateur ferme l'ouverture *d,* d'autant plus que le vide est plus complet, et empêche ainsi la raréfaction de se propager dans la conduite. Mais il y a lieu de se demander si un appareil de ce genre n'empêche pas la constance de la pression à l'entrée du moteur.

CHAPITRE VI

ÉTUDE GÉNÉRALE DES MOTEURS A GAZ

Cycles théoriques. — Rendements génériques. — Cycles réels. — Pertes de travail dans les cycles réels. — Résultats pratiques.

Cycles théoriques. — Pour comparer différents types de moteurs, il est utile de considérer leurs cycles théoriques et d'en déduire leurs rendements génériques. Pour établir ces diagrammes, on suppose que l'appareil satisfait aux conditions suivantes :

1° L'admission se fait tout entière sous la pression atmosphérique ;

2° L'explosion a lieu instantanément et à volume constant pour les deux premiers types ; la combustion se fait à pression constante pour le troisième type ;

3° La combustion est complète ;

4° La détente est complète et se fait sans gain ni perte de chaleur, c'est-à-dire suivant une adiabatique ;

5° L'échappement des gaz brûlés se fait entièrement sous la pression atmosphérique ;

6° Les organes du moteur ne présentent aucune résistance.

Ces conditions étant admises, on peut construire facilement les cycles théoriques correspondant aux quatre types de machines. Nous donnerons seulement, à titre d'exemple, le cycle des moteurs du second type à quatre temps, genre Otto.

L'admission, qu'on suppose faite à la pression atmosphérique, est représentée par la droite *ab*, la compression par la courbe *bc*, l'explosion à volume constant par la droite *cd*, la détente adiabatique par *de*, et l'échappement sous la pression atmosphérique par *ea*. Les diagrammes des autres types s'obtiendraient d'une manière analogue.

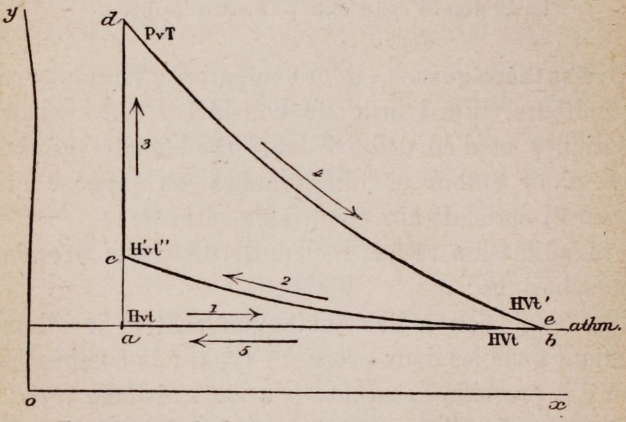


Fig. 56. — Cycle théorique d'un moteur à quatre temps [1].

Rendements génériques. — Si l'on calcule le rendement générique dans les conditions qui se présentent le plus souvent dans la pratique, on trouve, d'après M. Chauveau, les résultats suivants. Ce rendement prend la plus grande valeur pour les moteurs atmosphériques, où il s'élève à 0,62. Il est de 0,50 à 0,60 pour le second type et de 0,32 à 0,46 pour le troisième. Enfin, pour le premier type et pour les moteurs

1. Les figures 56 et 57 sont empruntées au *Traité théorique et pratique des moteurs à gaz* de Chauveau.

mixtes, il est seulement de 0,34 à 0,37. D'une façon générale, le rendement s'élève, soit avec la richesse du mélange et par suite avec la température explosive, soit avec la compression.

L'examen des rendements montre aussi que les meilleurs cycles sont ceux des moteurs atmosphériques et des moteurs du second type.

Cycles réels. — En réalité, jamais un moteur ne suit le cycle théorique, ainsi qu'on peut le voir sur la figure 57, qui représente un diagramme relevé sur un moteur Otto ; la ligne *ox* représente la pression atmosphérique. L'admission *ab* se fait sous une pression

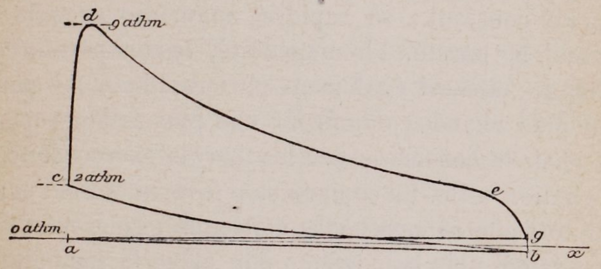


Fig. 57. — Diagramme d'un moteur Otto.

décroissante ; le volume augmente un peu pendant l'explosion *cd,* de sorte que la pression maxima se trouve diminuée ; la courbe de détente *de* est au-dessous de la ligne adiabatique ; de plus, la détente est incomplète et enfin l'échappement *ga* se fait avec une certaine contre-pression, tandis qu'il devrait avoir lieu à la pression atmosphérique.

Les machines des autres types donnent des résultats analogues.

Pertes de travail dans les cycles réels. — La com-

paraison des diagrammes réels et des cycles théoriques met en évidence les causes de perte de travail qui existent dans les moteurs à gaz tonnants.

L'abaissement de pression qui se produit vers la fin de la période d'admission est surtout sensible dans les moteurs du premier type ; il est dû au vide partiel que produit le rapide mouvement en avant du piston. Pendant cette période, les parois du cylindre, chauffées par les explosions précédentes, exercent une influence nuisible, car elles font dilater le gaz et diminuent la masse admise dans le cylindre.

L'explosion n'a jamais lieu instantanément ni à volume constant ; sa rapidité augmente avec la richesse, la pureté, l'homogénéité, la température du mélange ; elle est également plus rapide si les parois sont plus chaudes et offrent une plus faible surface. La chaleur conservée par les parois exerce donc ici une action utile. La compression favorise aussi l'explosion, car elle rapproche les molécules gazeuses et rend le mélange plus homogène ; elle élève la température et elle diminue la surface des parois. D'un autre côté, les machines à compression possèdent d'ordinaire une chambre d'explosion, dans laquelle le piston ne pénètre pas, et qui reste remplie de gaz brûlés ; ceux-ci, s'ajoutant ensuite au mélange tonnant, diminuent sa pureté et ralentissent l'explosion.

Malgré cet inconvénient, la compression exerce une action très favorable, surtout en diminuant la surface des parois, qui est la plus importante des causes de perte. Il faut ajouter aussi que la combustion du mélange gazeux est toujours incomplète, ainsi que le montre l'analyse du gaz provenant de l'échappement.

Dans les moteurs du troisième type, on observe des pertes analogues, la combustion étant encore incomplète et ne se produisant pas à pression constante. L'action de paroi s'exerce encore de la même manière.

Une autre cause de perte provient de ce que la détente ne se fait jamais suivant une adiabatique, car il est impossible, dans la pratique, d'empêcher les parois, qui sont conductrices et beaucoup moins chaudes que les gaz, d'absorber de la chaleur. Cette perte sera évidemment d'autant plus faible que les parois seront plus chaudes ; elle est moins grande dans les moteurs à compression.

Enfin une dernière perte provient de ce que l'échappement commence avant que les gaz aient atteint la pression atmosphérique. Il résulte de là que la détente n'est pas complète et que, les gaz n'étant pas suffisamment refroidis, une certaine quantité de chaleur se perd par l'échappement ; cette perte est encore augmentée par l'action des parois. De plus, le refoulement des gaz brûlés se fait avec une certaine contre-pression, ce qui absorbe du travail.

D'après M. Witz, qui a fait une étude approfondie de cette question, on a les deux lois suivantes :

1° L'utilisation croît avec la vitesse de détente ;

2° La combustion des mélanges tonnants est d'autant plus rapide que la vitesse de détente est plus grande.

On diminue donc l'action des parois et l'on accroît le rendement en augmentant la vitesse du piston.

Résultats pratiques. — Nous avons dit que les moteurs du 2e et du 4e type sont ceux dont les cycles

théoriques donnent le meilleur rendement. Pour savoir si cette supériorité se conserve dans la pratique, nous n'avons pas d'autre guide que la consommation par cheval-heure. M. Witz estime cette consommation pour les quatre types, d'après les meilleurs travaux, aux nombres suivants :

2000	700	900	650

La consommation théorique devrait être de

522	316	387	285

Le rapport de la consommation théorique à la consommation réelle est donc :

0,26	0,45	0,43	0,40

Ce rapport, qu'on peut appeler le *coefficient d'utilisation pratique,* permet d'apprécier les imperfections des cycles réels.

On voit que ce sont bien le second et le quatrième type qui ont la consommation la plus faible ; le troisième type dépense un peu plus et le premier présente un écart considérable.

Dans le second type, les moteurs à deux temps sont plus réguliers que ceux à quatre temps, mais leur consommation est un peu plus forte.

Le troisième type n'a pas été perfectionné dans ces derniers temps ; M. Witz pense qu'il est appelé à donner de bons résultats pour les grandes puissances.

Les moteurs atmosphériques sont certainement les plus parfaits ; c'est à l'imperfection des mécanismes qu'il faut attribuer leur disparition.

Il est à recommander de faire marcher les moteurs à la température la plus élevée possible, par exemple 85°, le rendement augmentant avec la température des

parois. Il importe aussi de ne pas employer un moteur d'une puissance supérieure à celle dont on a besoin, le rendement diminuant lorsque la machine ne développe pas son travail nominal. D'ailleurs, les pertes sont plus faibles et le rendement meilleur pour les moteurs de grande puissance. Il est donc à désirer que l'emploi des machines puissantes se généralise.

« Gardons-nous toutefois d'une illusion : il n'en est pas du moteur à gaz comme d'une machine à vapeur. Dans cette dernière, le rendement s'améliore beaucoup quand ses dimensions augmentent ; une machine de 2 chevaux consomme de 16 à 18 kilogrammes de vapeur par cheval-heure effectif, alors qu'une machine de 500 chevaux n'en exige que 9 à 10 au plus ; le rendement organique passe de 0,65 à 0,90.

« On devrait donc aussi réaliser une économie notable en employant des moteurs monocylindriques de 50 à 100 chevaux de puissance. Malheureusement, jusqu'à ce jour, nos espérances ont été déçues. Un moteur Otto de 10 chevaux a consommé, dans les expériences de MM. Allard, Leblanc, Joubert, Potier et Tresca, 10 litres de gaz de plus par cheval-heure effectif qu'un moteur de 4 chevaux : on s'attendait au contraire à une amélioration du rendement. J'ai essayé des moteurs de toute dimension : ce sont ceux de 8 à 12 chevaux qui m'ont donné les plus beaux rendements. Ce résultat est paradoxal ; mais on peut l'expliquer, en tenant compte de ce que le moteur du second type, qui est presque uniquement construit aujourd'hui, est un moteur à explosion. Je suis convaincu qu'un moteur du troisième type donnerait un meilleur résultat, et c'est encore des moteurs à combustion, totalement aban-

donnés en ce moment, que j'attends la meilleure solution pour la production des grandes forces.

« Aux ingénieurs et aux inventeurs d'étudier cette question, les premiers par la théorie, les seconds par les essais les plus variés : le concours des deux est indispensable au succès. Dans l'histoire des moteurs à gaz figurera sans doute un jour, à côté du nom du Dr Otto ou de M. Dugald Clerk, celui d'un obscur ouvrier, qui aura fait une très belle et très fructueuse invention (A. Witz)[1]. »

1. A. Witz, *Traité théorique et pratique des moteurs à gaz*, 1892.

CHAPITRE VII

MOTEURS A GAZ DU PREMIER TYPE

Premier moteur Lenoir. — Moteur Bénier. — *Economic Motor*. — Moteur Lentz.

Premier moteur Lenoir.

Les moteurs du premier type sont à explosion et dépourvus de compression. C'est à ce type qu'appartenait le premier moteur, construit par Lenoir vers 1860; bien que ce modèle soit abandonné maintenant, nous le décrirons sommairement, à cause de son importance historique.

D'ailleurs, on peut dire qu'en général les moteurs sans compression ne se fabriquent presque plus aujourd'hui, car l'avantage d'un mécanisme plus simple et par conséquent d'un prix d'achat moins élevé ne peut pas compenser la dépense plus grande de fonctionnement, causée par l'absence de compression. Nous indiquerons seulement, outre le moteur primitif de Lenoir, celles de ces machines qui sont encore en usage, à cause de leur perfection relative.

Le moteur Lenoir est à double effet et reproduit sensiblement la disposition des machines à vapeur horizontales à bielles articulées.

La distribution et la décharge se font par des tiroirs placés symétriquement de chaque côté du cylindre. Chaque paire de tiroirs est mue par un même excentrique. Chaque tiroir d'admission laisse entrer le gaz

par des tubes cylindriques et l'air par des trous, de sorte que les deux fluides se mélangent intimement.

L'explosion se produit à la moitié de la course ; le piston est poussé jusqu'au bout du cylindre, et, entraîné par le volant, dépasse le point mort ; le tiroir de décharge s'ouvre alors, tandis que l'admission commence de l'autre côté du piston. L'allumage est électrique.

Il faut remarquer que les avantages de la marche à double effet sont compensés par de sérieux inconvénients, l'échauffement exagéré des parois et l'impossibilité de la compression préalable ; aussi Lenoir a-t-il abandonné ce dispositif pour construire un modèle à compression, que nous décrirons plus loin.

Moteur Bénier.

Ce moteur est remarquablement simple et compact. Le cylindre A (fig. 58) est vertical et s'ouvre vers le bas ; le piston commande l'arbre de couche par l'intermédiaire d'un balancier BCD, articulé en D, d'une bielle en retour CM et d'une manivelle.

Un même tiroir E, mû par la came G, fixée sur l'arbre, produit l'admission et l'allumage ; il est maintenu au contact de la came par les ressorts de rappel *r*. Pendant la moitié de la course, le piston aspire le gaz et l'air ; le gaz arrive par l'orifice qu'on voit au-dessous du tiroir et se mélange avec l'air dans l'intérieur de celui-ci. L'allumage est alors produit par un bec de gaz placé dans une cavité du tiroir, qui, au moment voulu, est mise en communication avec le cylindre ; ce bec, éteint par l'explosion, est ensuite rallumé par un bec veilleur. Les tuyaux d'alimentation de ces deux

becs se voient à droite, au-dessous du tiroir. L'échappement se produit par une soupape, placée derrière la machine, et commandée par une came fixée sur l'arbre moteur.

La culasse du cylindre est refroidie par un courant d'eau. Au-dessus de 1 cheval, le moteur est muni d'un régulateur à boules, qui peut supprimer partiellement l'admission du gaz; pour les puissances infé-

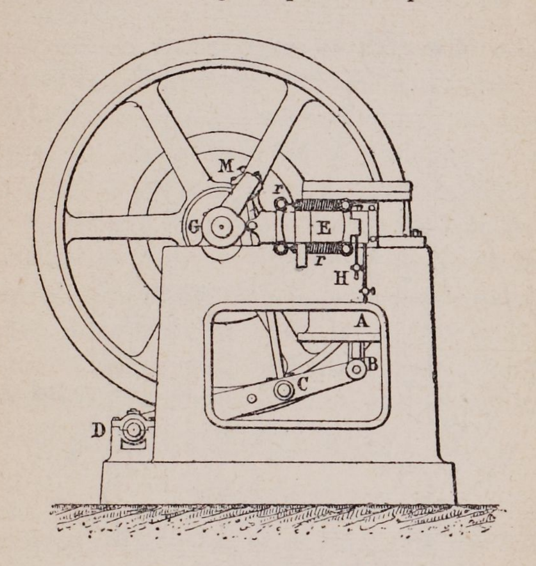


FIG. 58. — Moteur Bénier.

rieures, le réglage se fait à la main, en agissant sur le robinet d'arrivée du gaz.

Le moteur Bénier est surtout avantageux pour les petites forces. D'après l'inventeur, la consommation de gaz serait seulement de 1400 litres par cheval-heure.

Économic Motor.

Cet appareil est d'origine américaine ; comme le précédent, il convient surtout aux petites forces, et ne doit pas être employé au-dessus d'un demi-cheval. Il est d'ailleurs plus compliqué.

Le cylindre A (fig. 59) est entouré d'ailettes refroidissantes ; le piston actionne l'arbre de couche O par

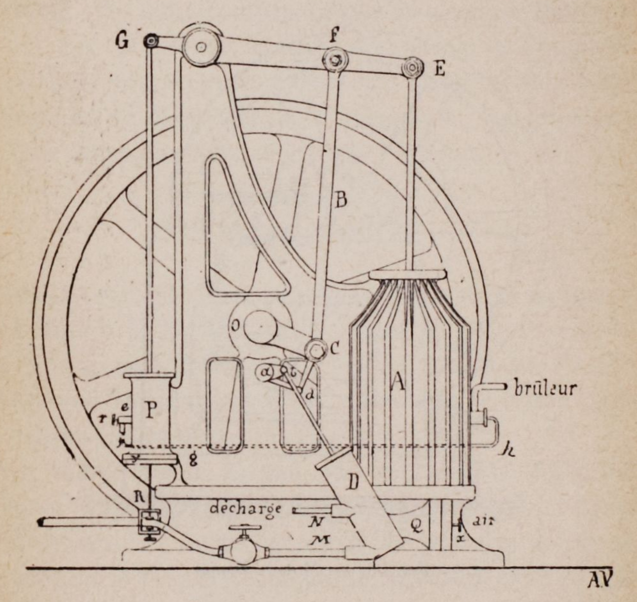


Fig. 59. — Economic motor.

l'intermédiaire du balancier EG, de la bielle pendante B et de la manivelle C. Une contre-manivelle *ab*, liée à la manivelle par *ad*C, commande le tiroir cylindrique D, qui présente une disposition particulière. Ce tiroir renferme un double piston, qui démasque successive-

ment les orifices d'admission M et Q du gaz et de l'air, puis l'orifice d'échappement N.

Le mélange étant aspiré pendant la première partie de la course, l'explosion se produit lorsque le piston a dépassé l'appareil d'allumage, formé d'une petite lame de platine portée au rouge. Les produits de la combustion se détendent ensuite, mais l'échappement s'ouvre avant même la fin de la course et ces gaz sont expulsés par N.

Le réglage est produit par un dispositif original. L'extrémité G du balancier actionne une pompe à air P, dont le débit augmente avec la vitesse du moteur. Une partie de l'air obtenu active l'allumage par le conduit *efgh;* le reste agit sur une membrane placée en *y* et non figurée. Lorsque la vitesse est trop grande, la membrane se déprime et abaisse le levier R, qui étrangle le tuyau de caoutchouc amenant le gaz en M. Un clapet disposé en Q, dont la course peut être réglée par *x*, sert à modérer l'afflux d'air. Dans certains modèles, l'étranglement du tuyau de caoutchouc est produit par un régulateur à boules.

Moteur Lentz.

Ce moteur est nouveau et original. Le gaz et l'air sont aspirés par une soupape libre et l'allumage se fait par succion de flamme dans le conduit même que traverse le mélange : les soupapes d'admission et d'allumage se ferment par l'explosion. La soupape de décharge, placée tout au bas du cylindre, s'ouvre par un levier actionné par une came.

Afin d'amortir le choc de l'explosion, la bielle a été rendue élastique. Pour cela, l'inventeur a adopté une

longue tête de bielle en coulisseau, dans laquelle le tourillon est maintenu contre l'extrémité par un puissant ressort à boudin. Le moteur Lentz n'a pas de régulateur, ni d'enveloppe à circulation d'eau : le cylindre est divisé en deux parties, dont l'une seulement est alésée, et qui sont réunies par un joint mauvais conducteur. Le piston est également formé de deux parties réunies par une substance isolante : celle d'avant, qui porte les cercles, se meut dans la partie alésée du cylindre ; l'autre, qui sert de remplissage, pénètre seule dans la partie postérieure du cylindre. On voit que, dans cette machine, la construction a été simplifiée autant qu'il est possible de le faire.

CHAPITRE VIII

MOTEURS DU SECOND TYPE A DEUX TEMPS

Moteur Dugald Clerk. — Moteur Benz. — Moteur Ravel. — Moteur Day. — Moteur Bénier.

Nous avons dit que les moteurs du second type se divisent en trois groupes ; nous étudierons d'abord ceux qui fonctionnent à deux temps. A ce groupe appartiennent les premiers moteurs à compression qui aient été inventés. A l'origine, ces machines fonctionnaient comme celles du premier type : le mélange était aspiré pendant une partie de la course avant, puis enflammé, et l'explosion poussait le piston jusqu'au bout de sa course ; la seule différence, c'est que le mélange introduit était comprimé, au lieu d'être à la pression atmosphérique. Le succès du moteur Otto engagea un certain nombre d'inventeurs à utiliser le même cycle, mais en cherchant à avoir une impulsion par tour, afin de rendre la marche plus régulière que dans les moteurs à quatre temps. Malgré cet avantage évident, les moteurs à deux temps ne semblent pas destinés à l'emporter, car la consommation de gaz est plus considérable et le mécanisme est plus compliqué, puisqu'il faut un second cylindre pour effectuer la compression. Nous décrirons d'abord le moteur D. Clerk, qui peut servir de type à tous ceux de cette série.

Moteur Dugald Clerk.

Le type des moteurs à deux temps est celui qui a été inventé en 1879 et perfectionné en 1887 par M. Dugald Clerk.

Description. — Ce moteur (fig. 60) se compose de deux cylindres horizontaux et parallèles : l'un est le cylindre de travail ; l'autre, nommé *déplaceur,* fonctionne comme une pompe, car il aspire les gaz et les refoule dans le cylindre principal. Le piston du déplaceur aspire, pendant la première moitié de sa course, un mélange détonant au septième, et de l'air pur pendant la seconde moitié. A ce moment, le piston moteur est encore dans sa course avant, qu'il termine lorsque le premier piston est déjà au milieu de sa course arrière, les deux cylindres étant mis en communication.

Fonctionnement. — Si l'on admet que les couches gazeuses restent stratifiées dans leur ordre d'entrée, on voit que le piston du déplaceur refoulera d'abord dans le cylindre de travail une couche d'air pur, qui le nettoie et expulse les produits de la combustion par la soupape d'échappement. Celle-ci se ferme ensuite au moment voulu ; c'est alors le mélange tonnant qui est introduit dans le cylindre du moteur, puis comprimé par le piston dans la chambre de combustion. L'explosion se produit à la fin de la course arrière et pousse le piston en avant ; les produits de la combustion se détendent et l'échappement commence vers les trois quarts de la course avant.

L'expérience montre que, en réalité, la stratification des couches gazeuses est toujours assez imparfaite,

de sorte que l'air introduit dans le cylindre moteur pour chasser les produits de la combustion précédente entraîne toujours un peu de gaz, qui se trouve perdu ; mais on a l'avantage d'expulser du cylindre toute matière enflammée susceptible de produire une explosion prématurée, et l'on obtient une explosion plus rapide et une combustion plus complète. D'un autre côté, la détente des gaz brûlés n'est pas très considérable ; c'est le point faible de cette machine.

D'ailleurs, le moteur D. Clerk est d'une construction extrêmement simple, ne comporte aucun engrenage et marche régulièrement et silencieusement. Le piston moteur actionne l'arbre de couche par une bielle et une manivelle ; le piston de la pompe est commandé par un bouton, fixé sur l'un des bras du volant, à 90° de la manivelle, et avec une légère avance.

Dans cette machine, comme dans tous les moteurs à deux temps, il n'y a pas besoin d'arbre de distribution tournant deux fois moins vite que l'arbre de couche : le tiroir qui produit la distribution et l'allumage est commandé par un excentrique calé directement sur l'arbre de couche. L'échappement se fait par une série annulaire d'ouvertures pratiquées sur la surface du cylindre principal, vers le milieu de sa longueur : il commence dès que le piston, dans sa course avant, découvre ces orifices, et se termine seulement quand il revient les masquer dans son mouvement de retour. Le régulateur agit en supprimant l'admission quand la vitesse devient trop grande. Le cylindre est refroidi par un courant d'eau.

Self-Starter. — Ce moteur est muni d'un self-starter

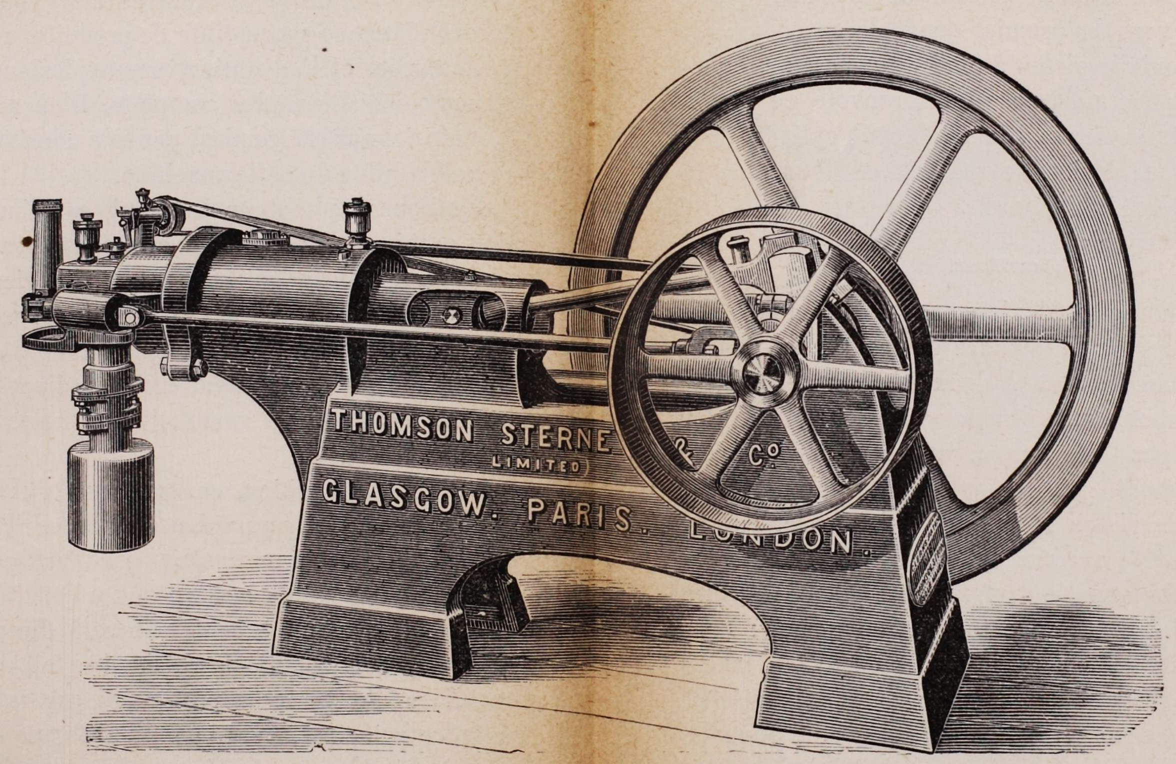


Fig. 60. — Moteur Dugald Clerk (Thomson Sterne).

particulier. Ce dispositif, décrit plus haut (page 176), consiste à comprimer dans un réservoir une certaine quantité de mélange tonnant à 5 kilogrammes environ. Pour mettre en marche, on introduit ce mélange dans le déplaceur, vers le premier quart de sa course, de sorte qu'il refoule le piston à fond de course ; l'impulsion communiquée ainsi au volant renvoie ce piston en avant et fait passer la charge dans le cylindre moteur, où une explosion se produit et détermine la marche régulière de l'appareil.

Moteur Benz.

Dans ce moteur (fig. 61), la compression du mélange tonnant se fait dans le cylindre de travail lui-même, bien que la marche soit à deux temps ; néanmoins l'appareil comporte une pompe chargée de refouler seulement le gaz d'éclairage, et un réservoir à air comprimé, alimenté par le piston moteur lui-même.

Supposons le piston P à l'extrémité arrière de sa course, comme le montre la coupe verticale de la figure 60 ; la chambre de compression, placée derrière lui, est remplie de mélange tonnant comprimé : l'explosion se produit et pousse le piston en avant, tandis que les gaz brûlés se détendent. Dès que le piston, dépassant le point mort, revient en arrière, la soupape d'échappement *b* s'ouvre ; puis, après 1/30 de seconde, une deuxième soupape *a* s'ouvre également et le réservoir E envoie une charge d'air comprimé, qui balaie par *b* les produits de la combustion.

Les deux soupapes *a* et *b* se referment dès que le piston P est arrivé au milieu de sa course arrière ; mais la soupape S s'ouvre aussitôt, et la pompe A′

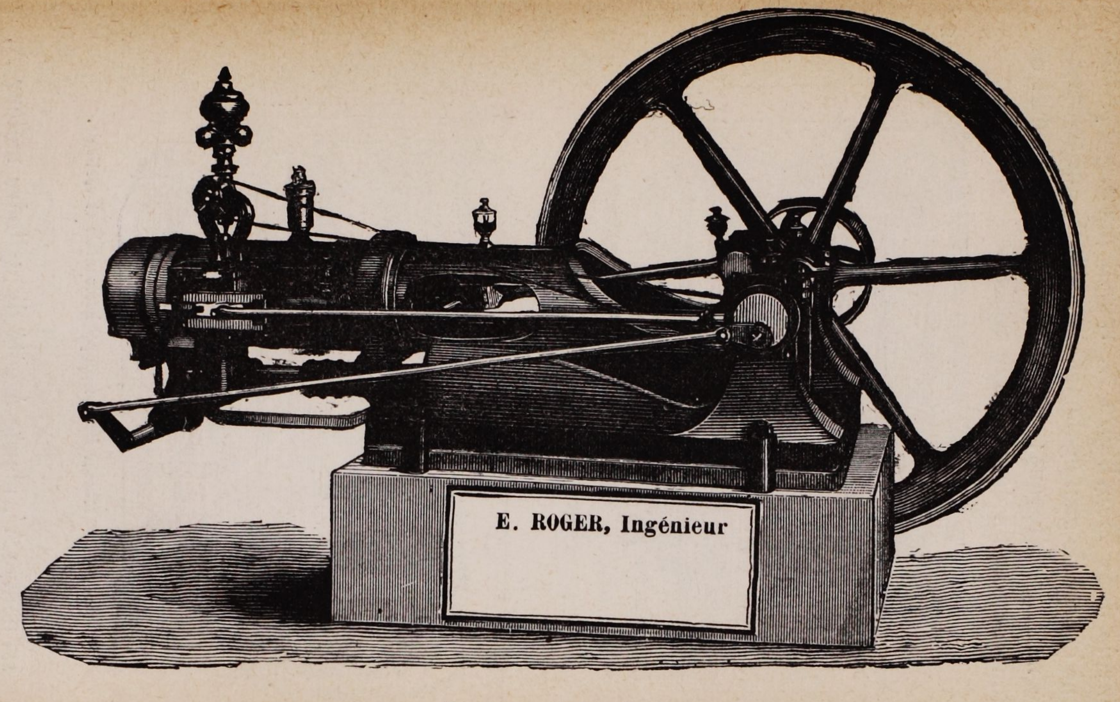


Fig. 61. — Moteur Benz.

envoie dans le cylindre A, rempli d'air comprimé, une charge de gaz, également comprimé, qui complète le mélange détonant; puis l'explosion se produit de nouveau à la fin de la course arrière.

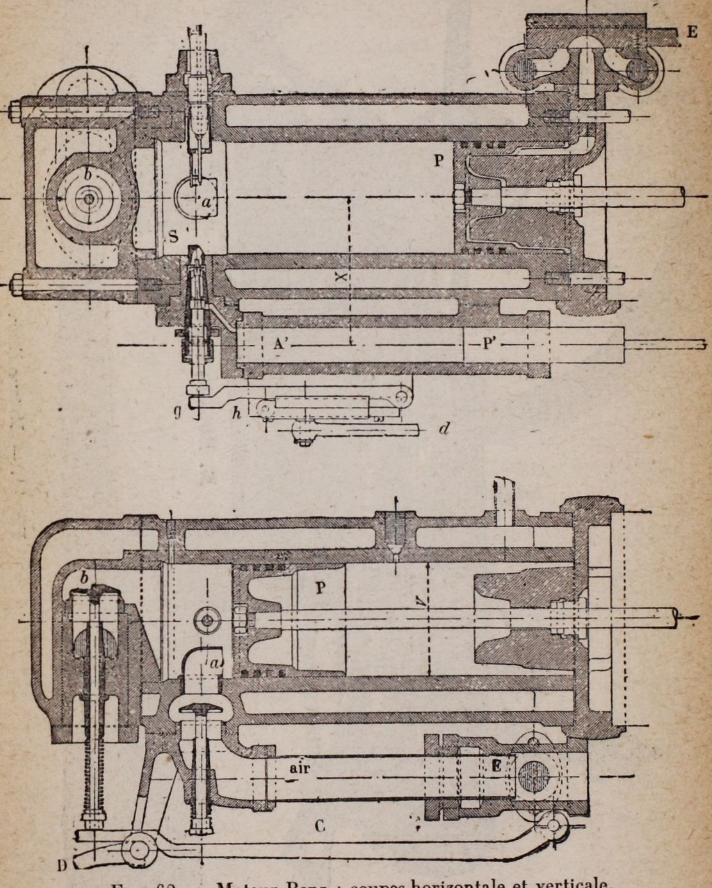


Fig. 62. — Moteur Benz : coupes horizontale et verticale.

La pompe A′, placée à côté du cylindre moteur A,

reçoit le gaz par un conduit supérieur et par une soupape d'aspiration que gouverne le régulateur ; son piston plongeur P′ partage le mouvement du piston moteur P, les deux tiges étant reliées par une traverse. Le gaz est d'abord comprimé dans le cylindre A′, la soupape S ne s'ouvrant qu'après la fermeture des soupapes *a* et *b*; cette soupape S est appliquée sur son siège par un ressort et ne s'ouvre que lorsque le levier à coin *h*, commandé par la tige *d* et par un excentrique spécial, calé sur l'arbre moteur, agit sur la tête *g*.

Le réservoir d'air E est alimenté par le piston moteur P, la partie antérieure du cylindre A jouant le rôle de pompe aspirante et foulante. L'air est appelé du dehors par le tiroir plat E′ et vient ainsi rafraîchir les parois intérieures du cylindre A ; en outre le tiroir E′, ne subissant que le contact de l'air pur, s'échauffe très peu.

Les soupapes *a* et *b* sont commandées par une contre-manivelle de l'arbre de couche et une tige oblique, qu'on voit sur la figure 61 ; cette tige actionne le levier C, placé sous le cylindre, au moyen de l'arbre transversal *p* et d'une sorte de came oscillante D, qui soulève le levier C et par suite les soupapes à ressort *a* et *b*.

Un pendule conique règle la quantité de gaz admise dans la petite pompe. La vitesse est de 120 à 130 tours, suivant la puissance. Le cylindre est refroidi par un courant d'eau. La consommation de gaz est de près de 1000 litres par cheval-heure effectif.

Moteur Ravel.

M. Ravel a imaginé, depuis 1877, plusieurs types de moteurs à gaz. Il s'est proposé, en dernier lieu,

« d'obtenir, sous un volume restreint, un moteur très simple, dont le piston puisse atteindre de grandes vitesses, sans présenter les dangers et les inconvénients inhérents aux machines à grande vitesse, et dont la marche régulière puisse le rendre propre à la commande directe des dynamos. » M. Ravel a donc cherché à obtenir une grande vitesse de détente, afin de diminuer la dépense de combustible, et il est arrivé en même temps à diminuer le prix de revient du moteur.

Ce moteur est vertical et du type pilon (fig. 63) : le cylindre est placé au haut d'un bâti creux, formant une chambre fermée de compression, de sorte que le piston est moteur par sa face supérieure et compresseur par sa face inférieure. La machine repose sur un socle, qui est également creux et sert aussi de réservoir de compression : ce réservoir communique, par deux tuyaux verticaux munis de soupapes, avec le réservoir du bâti et avec la chapelle d'admission placée à la partie supérieure du cylindre. Le gaz et l'air pénètrent d'abord dans le bâti par une chapelle d'aspiration disposée sur le bâti, à mi-hauteur, et qui renferme une soupape mue par un excentrique. L'expulsion des gaz brûlés se fait par une couronne de lumières placées à la base du cylindre et que le piston démasque à la fin de sa course avant.

Supposons d'abord que le piston, arrivé au bas de cette course, commence à remonter : il aspire le mélange tonnant par sa face inférieure et le fait pénétrer dans la chambre du bâti ; en même temps, sa face supérieure refoule les gaz brûlés et les chasse au dehors, jusqu'à ce qu'il soit venu masquer la couronne

de lumières. A ce moment, la soupape d'admission

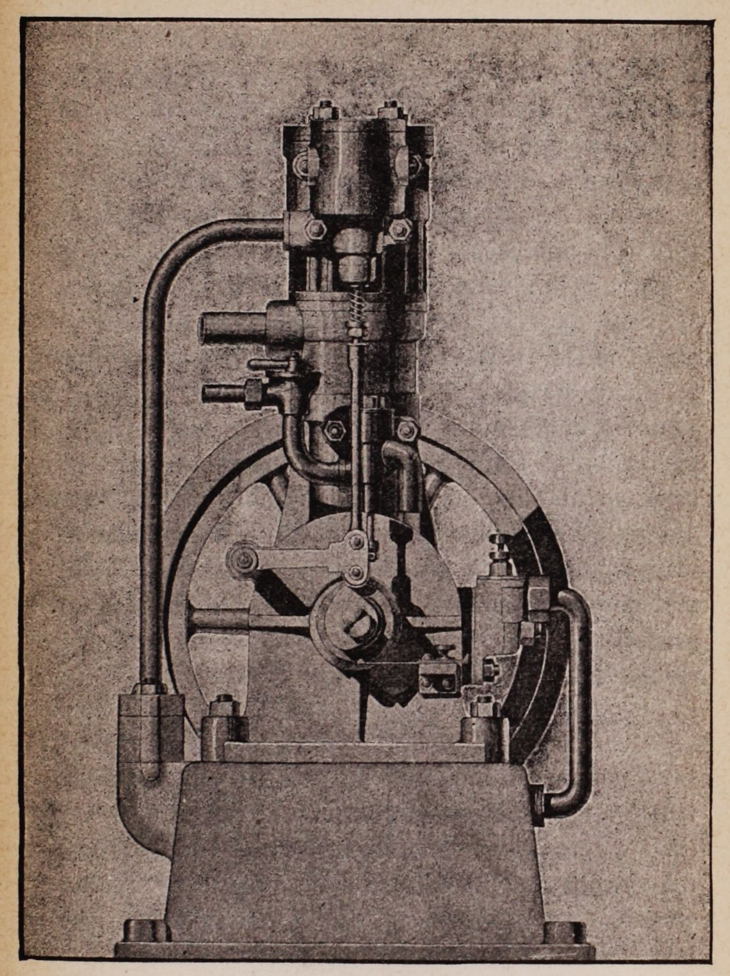


Fig. 63. — Moteur à gaz Ravel.

s'ouvre pendant un instant, sous l'action d'un excen-

trique, et laisse entrer dans le cylindre la charge de mélange tonnant, provenant de la chambre du socle ; ce mélange est ensuite comprimé par le piston et allumé à la fin de la course arrière. L'explosion chasse ensuite le piston en avant, et l'impulsion se continue jusqu'à ce que les lumières de décharge se trouvent découvertes. En même temps, la face inférieure comprime le mélange renfermé dans la chambre du bâti et le fait passer dans celle du socle.

Lorsque la vitesse augmente, la pression du mélange contenu dans le socle tend à augmenter aussi. Un clapet modérateur s'ouvre alors et laisse repasser une partie de ce mélange dans la chambre du bâti ; la pression augmentera donc dans cette chambre, et le piston, en se soulevant, aspirera moins fortement le mélange. L'effet contraire se produira si la vitesse diminue. Le réglage s'obtient ainsi très simplement.

Ce moteur est à grande vitesse, 480 tours pour le modèle de 2 chevaux. La chambre d'explosion est refroidie par une circulation d'eau et la partie inférieure du cylindre par de larges ailettes.

Moteur Day.

Ce moteur est analogue au précédent et d'une construction extrêmement simple. Il est aussi du type pilon, et possède, au-dessous du cylindre, une cavité close, renfermant la bielle et la manivelle et servant de chambre de compression. Il n'y a pas de soupapes : toutes les manœuvres se font par des orifices qui se trouvent démasqués successivement.

Le piston, dans sa course avant, comprime le mélange dans la chambre du bâti et découvre, au-dessus

de lui, d'abord l'orifice d'échappement, puis celui d'admission. Pour éviter qu'une partie du mélange tonnant s'échappe par la première ouverture, une lame dirige le courant gazeux vers la partie supérieure du cylindre. Le piston, en remontant, aspire le mélange dans la chambre du bâti ; en même temps, il ferme successivement les deux orifices d'échappement et d'admission et comprime le mélange renfermé dans le cylindre. L'explosion se produit, au contact d'un tube incandescent, par le seul effet de la pression.

Ce moteur peut tourner dans les deux sens et possède une vitesse considérable, supérieure à 300 tours.

Moteur Bénier.

Cette machine est disposée pour être associée avec le gazogène du même inventeur, que nous avons décrit plus haut (page 151). A côté du cylindre moteur D (fig. 64 et 65) est fixée une pompe de compression formée de deux cylindres A et B, de diamètres différents, dans lesquels se meuvent deux pistons. Le premier appareil aspire de l'air pur par une soupape *a*, non figurée ; le second aspire le gaz pauvre par la soupape *b*. Les deux fluides sont ensuite refoulés, par la soupape *c*, dans la boîte de mélange C, puis diffusés dans le cylindre D, à travers les orifices S. L'échappement se fait par les ouvertures *h*, placées aux 5/6 de la course avant, de sorte qu'elles restent ouvertes pendant le dernier sixième de cette course et pendant le premier de la course arrière. Le fonctionnement est semblable à celui des appareils précédents.

Afin de balayer complètement les gaz brûlés, la pompe A agit d'abord seule et envoie de l'air pur : le

mélange tonnant est introduit ensuite, après que le

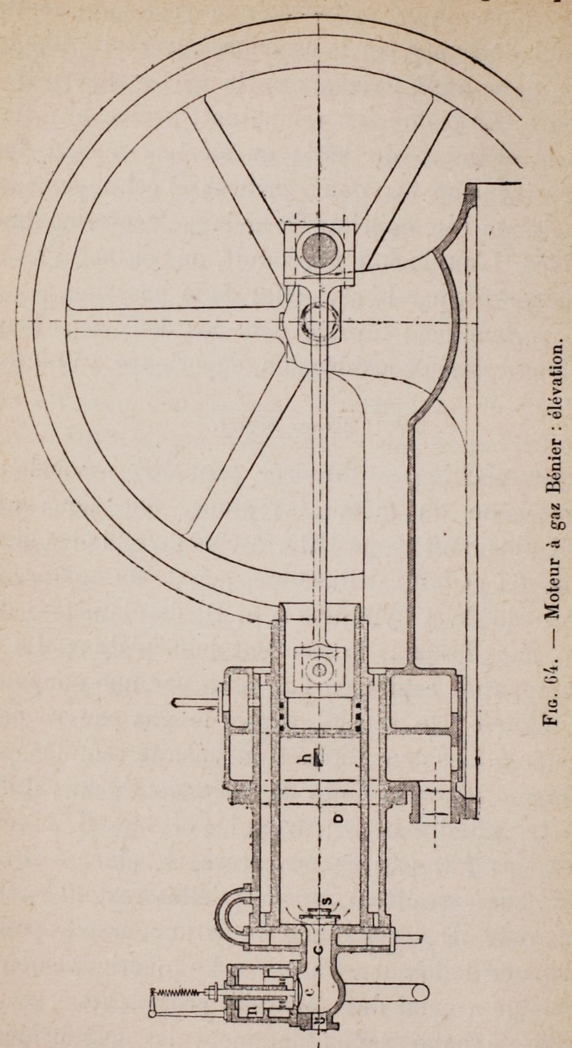


Fig. 64. — Moteur à gaz Bénier : élévation.

piston moteur a masqué les ouvertures *h*. Voici com-

ment ce résultat est obtenu : comme les deux pompes

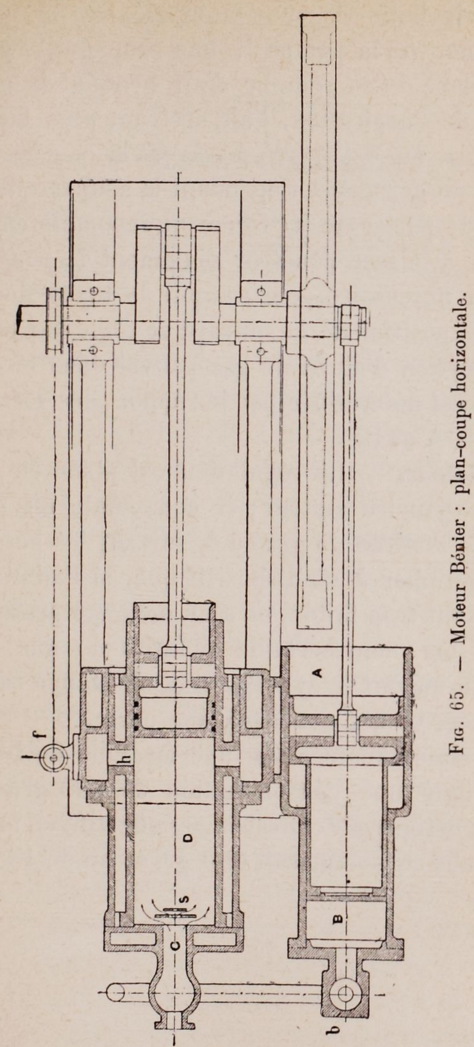


Fig. 65. — Moteur Bénier : plan-coupe horizontale.

fonctionnent ensemble et que leurs cylindres sont en

communication permanente par les tuyaux de refoulement et la boîte C, on a interposé, sur le tuyau de refoulement de la pompe B, une soupape qui empêche cette pompe de se remplir d'air pendant la première période de l'aspiration, l'air arrivant plus facilement que le gaz, qui est aspiré à travers la couche de combustible du gazogène. Cependant la soupape dont nous venons de parler ne se ferme qu'incomplètement, de manière à laisser pénétrer seulement la petite quantité d'air nécessaire pour remplir le tuyau de refoulement ; la position de la soupape se règle par un écrou. La proportion d'air et de gaz pauvre dans le mélange tonnant est déterminée par le rapport des sections des cylindres A et B.

Régulateur. — Le régulateur est placé en *f*, sur le côté du cylindre moteur ; il commande un papillon, qui règle l'entrée du gaz en *b*, suivant les besoins. On peut reprocher à ce dispositif que, si l'admission de gaz devient trop faible, on a un mélange pratiquement inexplosible : une certaine quantité de gaz traverse donc inutilement le cylindre D et s'échappe sans avoir été brûlée, ce qui constitue une perte.

Des essais effectués sur une machine de 5 chevaux ont indiqué une consommation de 800 grammes de charbon maigre par cheval-heure effectif ; un moteur de 10 chevaux consommerait 650 gr. et un de 15 chevaux 598 gr.

CHAPITRE IX

MOTEURS DU SECOND TYPE A QUATRE TEMPS

Moteur Otto. — Moteur Crossley. — Moteur Lenoir. — Motenr de la Compagnie du gaz. — Moteur Kœrting-Lieckfeld. — Moteur « Le Triomphe ». — Moteur Tenting. — Moteur Charon. — Moteur Cadiot. — Motour Niel. — Moteur Grob.

Dans ces moteurs, le mélange détonant n'est pas allumé aussitôt après son admission ; il est d'abord comprimé. Les opérations à accomplir sont donc au nombre de quatre : admission, compression, travail, échappement, et, dans les appareils de ce groupe, elles se produisent dans un même cylindre, une course étant réservée à chacune d'elles. On n'obtient donc qu'une explosion pour quatre courses, c'est-à-dire tous les deux tours, du même côté du piston.

Ce système a été réalisé pour la première fois d'une façon pratique en 1876 par M. Otto : depuis cette époque, et surtout depuis que les brevets Otto sont tombés dans le domaine public, les moteurs à quatre temps se sont multipliés ; ils sont aujourd'hui de beaucoup les plus répandus, l'expérience ayant montré que la dissymétrie résultant de ce qu'on n'a qu'une impulsion tous les deux tours ne nuit pas à la régularité de la marche. De plus, on tend actuellement à accroître énormément la compression préalable, ce qui abrège peut-être un peu l'existence des moteurs, mais donne un meilleur rendement et augmente l'économie.

Moteur Otto.

Nous décrirons d'abord le motteur Otto, qui est le plus ancien et le plus connu des moteurs à quatre temps. Dans cet appareil, toutes les opérations s'effectuent dans le même cylindre, par le jeu d'un même piston; l'aspiration du mélange et l'allumage sont produits par un même tiroir; l'échappement se fait par une soupape.

Description. — Le cylindre (fig. 66), horizontal, est ouvert à sa partie antérieure; il est soutenu en porte-à-faux sur le socle et terminé par une culasse qui sert de glissière pour la tige du piston. Celui-ci actionne, par l'intermédiaire d'une bielle et d'une manivelle, un arbre horizontal muni d'un volant. Comme, sur quatre courses, une seule est motrice, le volant doit emmagasiner l'énergie produite pendant cette seule course afin de suffire au travail résistant produit pendant les trois autres courses, sans que le mouvement se ralentisse sensiblement; ce volant a donc un rôle important et doit posséder une grande masse.

Tous les organes de distribution sont commandés par un axe horizontal *bb'*, qui reçoit le mouvement de l'arbre de couche, par l'intermédiaire d'un engrenage conique J, disposé de telle sorte que le premier arbre fasse un seul tour pendant que le second en fait deux. Le tiroir plat E reçoit un mouvement alternatif horizontal, au moyen d'une barre H et d'une manivelle K, fixée à l'extrémité de l'axe *bb'*. Cet axe porte en outre deux cames B et C : la première commande la soupape d'échappement *s* (fig. 67) par l'intermédiaire du levier G, qui passe sous le cylindre; la seconde,

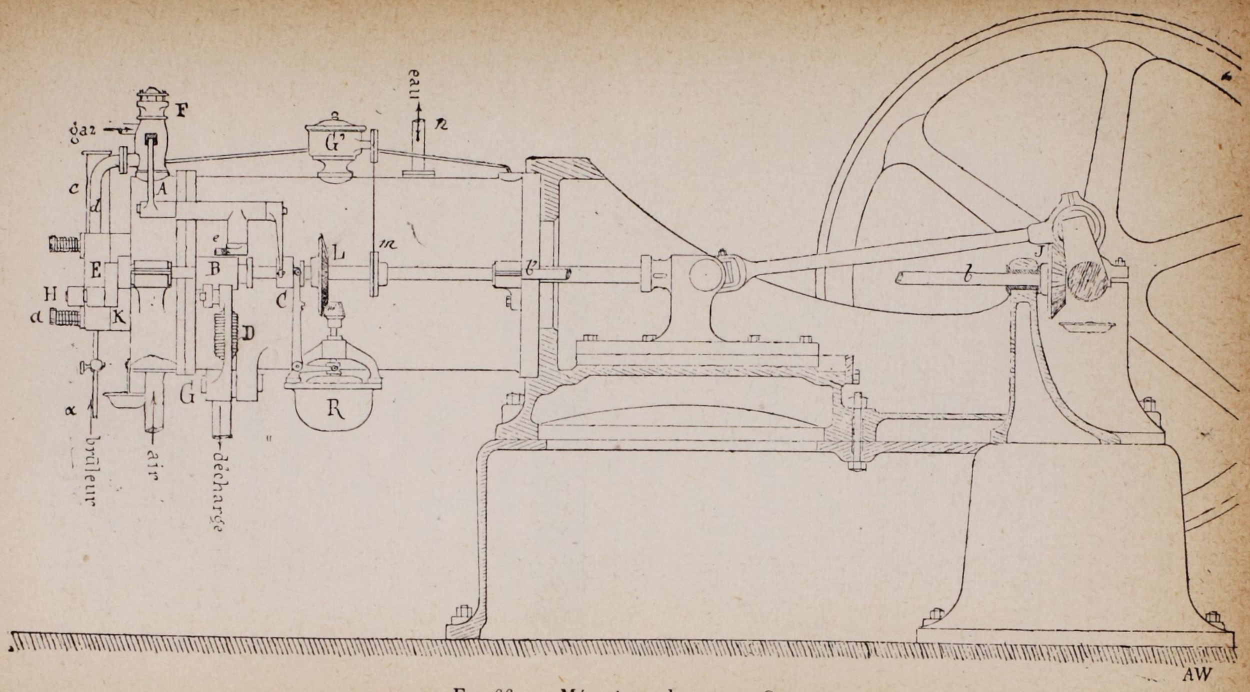


Fig. 66. — Mécanisme du moteur Otto.

qui actionne la soupape d'admission F du gaz au tiroir de distribution, au moyen du levier A, peut se déplacer sous l'action du régulateur à boules R, qui reçoit lui-même le mouvement de l'engrenage conique L. Lorsque la vitesse augmente, le régulateur déplace la came C,

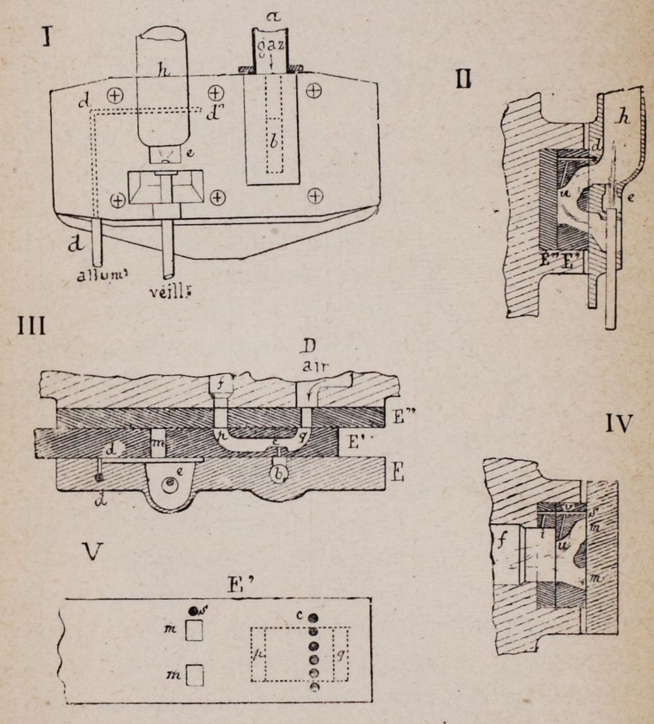


Fig. 67. — Moteur Otto : mécanisme du tiroir.

qui ferme la soupape F, et l'air pénètre seul dans le cylindre, jusqu'à ce que la vitesse ait repris sa valeur.

Distribution et allumage. — Sur la figure 67, les dessins I et III montrent en élévation et en coupe

les appareils de distribution et d'allumage ; le second et le quatrième indiquent la formation de la flamme comprimée et son introduction dans le cylindre ; le dernier est une vue du tiroir E'. Ce tiroir glisse entre la plaque de culasse E'' et la contre-plaque E, que maintiennent des ressorts. L'air arrive par l'ouverture D, pratiquée dans la culasse même du cylindre ; le gaz est amené par le conduit *ab*, creusé dans la contre-plaque, et traverse les orifices multiples du diffuseur *c*. Les deux gaz se mélangent par le conduit *pq* et sont introduits par *f* dans le cylindre. Les orifices du diffuseur sont percés dans la glissière E', de telle façon que le gaz continue à arriver au conduit *f* un peu après que l'admission de l'air a été supprimée en *q*.

Le tiroir ferme ensuite le cylindre pendant la compression ; puis l'allumage se produit.

La chambre d'allumage *mm*, creusée dans le tiroir E', reçoit d'abord du gaz pur par le tuyau *d* et la rainure horizontale *dd'*; elle est amenée ensuite devant le brûleur permanent *e*, qui enflamme le gaz dont elle est remplie à la pression atmosphérique. Puis, le tiroir continuant à avancer vers la droite, cette chambre est isolée de la contre-plaque et mise peu à peu en communication avec le cylindre par le conduit *i*, le trou *s*, appelé *trou* d'équilibre, et le canal oblique *vu*. La flamme contenue dans cette chambre passe ainsi peu à peu de la pression de l'atmosphère à celle qui règne derrière le piston. La chambre *mm* se trouve enfin reliée largement au cylindre et sa flamme détermine l'allumage du gaz très riche contenu dans la lumière *f*; ce gaz, à son tour, donne en brûlant un dard de flamme qui

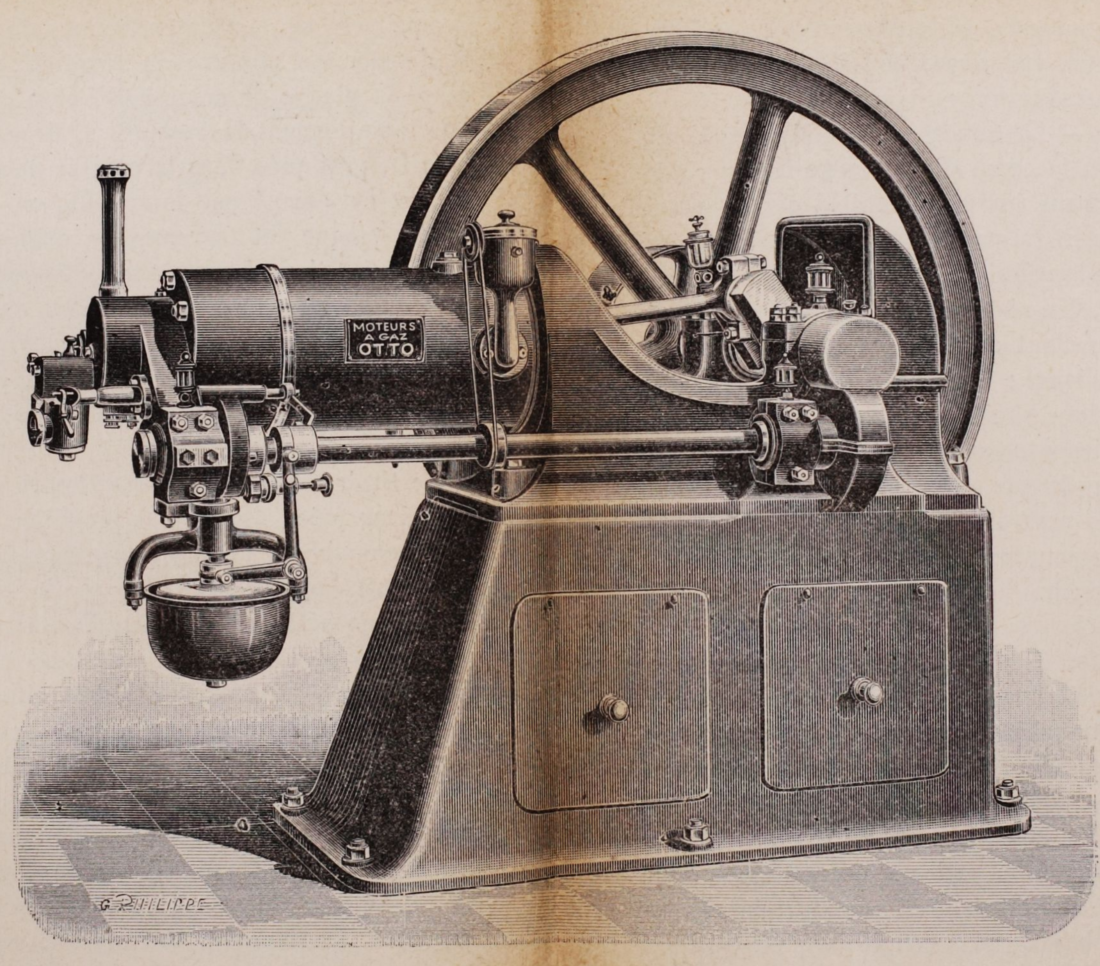


Fig. 68. — Nouveau moteur à gaz Otto à soupapes.

pénètre dans le cylindre et fait détoner le mélange pauvre qui s'y trouve comprimé. Les produits de la combustion s'échappent ensuite par une soupape indépendante du tiroir. La disposition de ce tiroir est extrêmement remarquable.

Mise en train. — Le levier *e* (fig. 66) permet de déplacer à la main la came de décharge B pour faciliter la mise en train en supprimant la compression. Un courant d'eau, réglé par un robinet, circule autour du cylindre pour le refroidir ; la température ne doit pas dépasser 85°. Un réservoir graisseur G′ distribue l'huile méthodiquement au tiroir et au cylindre par deux conduits obliques ; une petite turbine, mue par la corde *m*, distribue l'huile aux tubes.

Une poche de caoutchouc doit être disposée sur le conduit qui amène le gaz au brûleur, pour empêcher l'aspiration de se produire directement dans la conduite. La prise de gaz pour le brûleur doit être branchée en amont de la poche de caoutchouc et le plus loin possible de celle-ci.

Tous les organes du moteur Otto sont accessibles, indépendants les uns des autres et faciles à démonter.

Stratification du mélange tonnant. — Il faut observer que, dans cet appareil, le mélange tonnant se trouve additionné d'une partie des produits de la combustion précédente. En outre, le tiroir est disposé de sorte que l'admission du gaz se prolonge un peu après celle de l'air. Otto pensait obtenir ainsi une stratification du mélange en couches de plus en plus combustibles, à partir du piston, de manière à ralentir la combustion, à abaisser la température maxima et par suite à diminuer l'effet nuisible des parois. Il paraît peu probable

que cette stratification se produise réellement : d'après M. Witz, la combustion lente et progressive est due seulement à la dilution, et ne présente pas d'ailleurs d'avantage marqué, parce qu'elle abaisse le rendement. La supériorité du moteur Otto provient, non de cette stratification, mais de la compression préalable et de l'heureuse disposition des organes.

Autres types de moteurs Otto. — Depuis quelques années, la maison Otto construit aussi des moteurs qui diffèrent un peu du type précédent. Ainsi le tiroir à double fonction d'admission et d'allumage peut être remplacé par une distribution à soupapes (fig. 68) ; cette disposition convient surtout aux puissances supérieures à 40 chevaux, parce que les tiroirs prennent alors des dimensions exagérées et deviennent d'un entretien difficile. Le bec d'allumage est remplacé par un tube métallique incandescent. Dans ce cas, l'admission du mélange et l'inflammation sont donc produites par des mécanismes différents ; du reste, le mélange tonnant arrive toujours en face de l'orifice d'allumage, de sorte que le canal d'introduction est toujours rempli d'un mélange très explosible. Enfin la glissière du modèle précédent est supprimée.

Moteur à deux cylindres. — On peut reprocher au moteur Otto, ainsi qu'à tous les moteurs à quatre temps, de manquer de régularité, l'impulsion motrice ne se produisant qu'une fois sur deux coups de piston. L'usine de Deutz, près de Cologne, qui construit le moteur Otto pour l'Allemagne, y a remédié en donnant aux cames d'admission une légère inclinaison et en les disposant de telle sorte qu'il y ait admission de gaz à chaque coup. Cependant, lorsqu'on tient à obtenir un

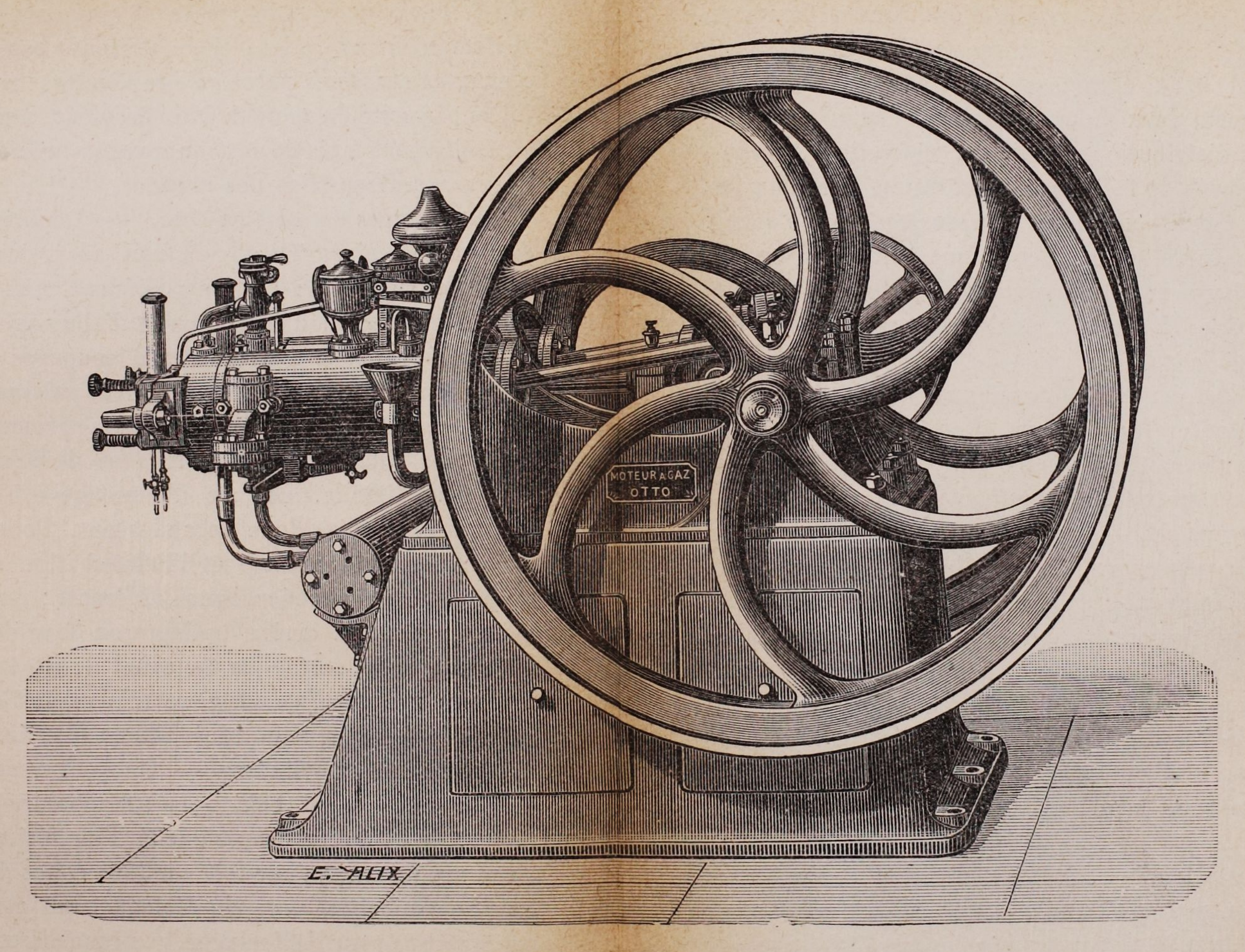


Fig. 69. — Moteur à gaz Otto à deux cylindres.

mouvement parfaitement régulier, comme cela est nécessaire pour l'éclairage électrique, surtout lorsqu'on emploie l'incandescence, il vaut mieux se servir de moteurs à deux cylindres (fig. 69), constituant en quelque sorte deux moteurs simples placés parallèlement. La distribution se fait par deux tiroirs conjugués, disposés de façon que l'aspiration dans l'un des cylindres corresponde à la compression dans l'autre ; les deux manivelles motrices étant parallèles, on obtient ainsi une impulsion pour chaque tour. Jusqu'à la puissance de 25 chevaux, les tiroirs servent à la fois à l'admission et à la mise de feu, comme dans le premier type simple que nous avons décrit. Au-dessus de cette limite, les tiroirs sont très réduits et produisent seulement l'inflammation, la distribution se faisant par soupapes. L'arbre porte deux volants.

Moteur vertical. — Le type vertical (fig. 70) convient aux faibles puissances. Ce modèle, qui est muni d'un large socle servant à la fois de bâti et d'enveloppe, présente tous les organes essentiels du type horizontal, décrit plus haut. On voit à gauche le tiroir et le brûleur ; l'air est puisé dans le socle même, ce qui amortit le bruit de l'aspiration et empêche l'introduction des poussières. L'allumage est produit par un transport de flamme sous pression, comme dans le type horizontal.

Consommation. — La consommation des moteurs Otto est un peu supérieure à celle de quelques autres machines du même groupe ; elle dépasse 700 litres par cheval-heure effectif. Cela tient, d'après M. Witz, à la faiblesse de la compression, qui ne dépasse jamais 2,5 kgr. On perd ainsi un peu de rendement, mais on

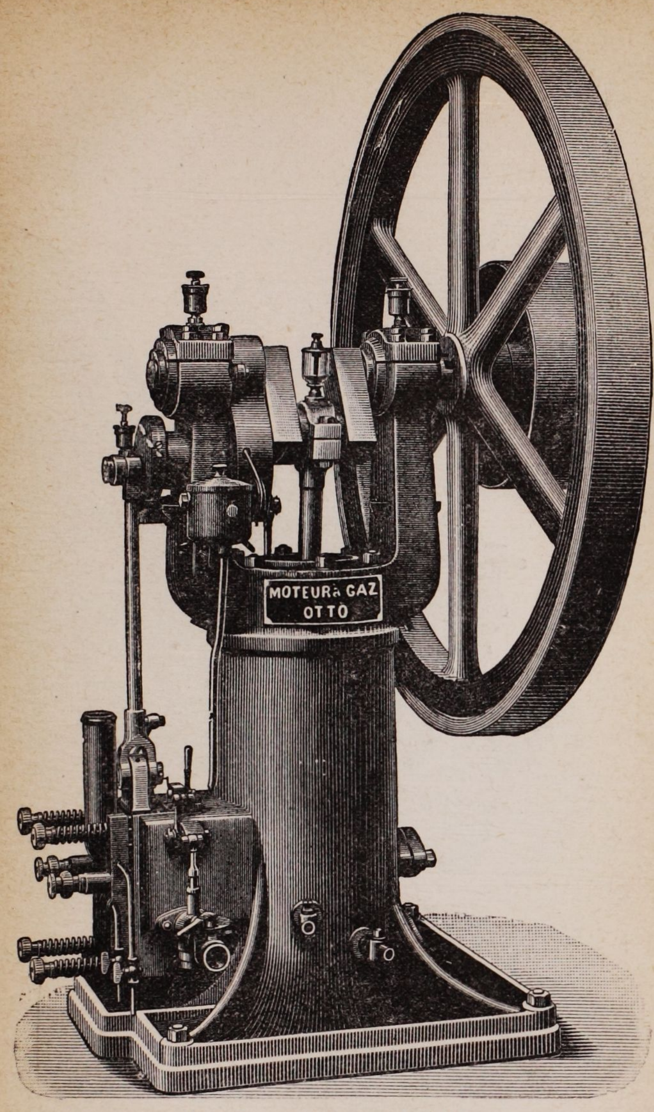


Fig. 70. — Moteur vertical Otto.

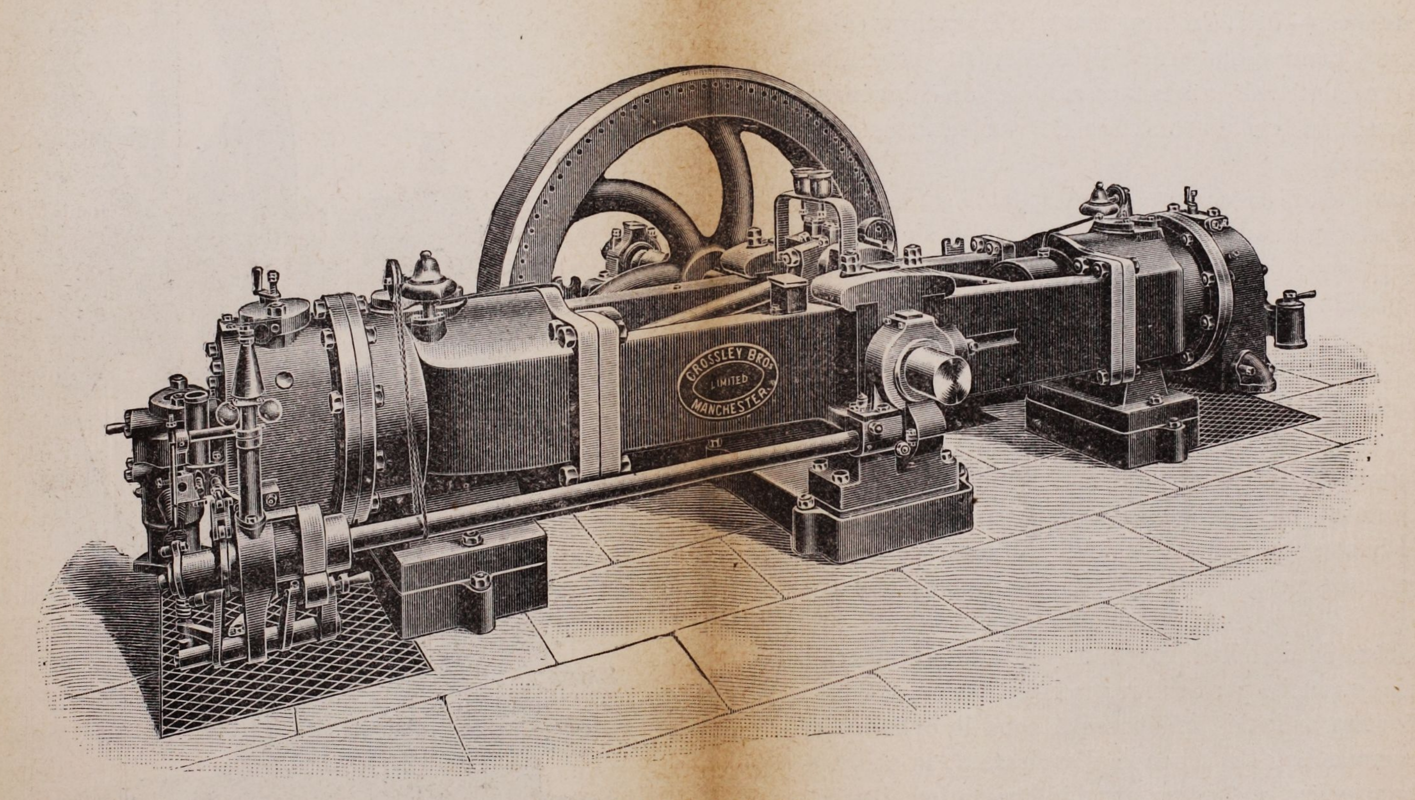


Fig. 71. — Moteur Crossley Y 2 de 150 chevaux.

a un certain avantage au point de vue de la résistance et de la durée de l'appareil.

Moteur Grossley.

Principe. — MM. Crossley frères, d'Openshaw (Manchester), concessionnaires des brevets Otto pour l'Angleterre, ont fait subir au modèle de l'ingénieur allemand un certain nombre de perfectionnements intéressants.

Tout d'abord la compression préalable est beaucoup plus forte que dans le moteur Otto ; elle s'élève à 5 atmosphères ; la vitesse du piston est aussi beaucoup plus grande ; elle a été portée dans quelques machines jusqu'à 250 tours ; ainsi que l'a démontré M. Witz, ces deux conditions constituent le meilleur moyen de perfectionner le cycle et d'améliorer le rendement des moteurs.

Moteurs horizontaux. — Dans les moteurs Crossley horizontaux, la distribution se fait par des soupapes et l'allumage par un tube de fer incandescent ; ces dispositions ont été appliquées, depuis, aux moteurs Otto.

L'arbre de distribution, qui reçoit le mouvement de l'arbre de couche par deux roues hélicoïdales, actionne des leviers articulés qui passent sous le cylindre et qui commandent la soupape d'aspiration, la soupape d'échappement et l'obturateur d'inflammation. Le premier levier porte un régulateur d'inertie, qui règle la vitesse.

Le tube en fer qui enflamme le mélange tonnant est placé dans une cheminée et chauffé par un bec Bunsen ; il est monté à vis sur un conduit, muni d'un obtu-

rateur, qui communique avec la chambre de compression.

Il existe un grand nombre de modèles de moteurs

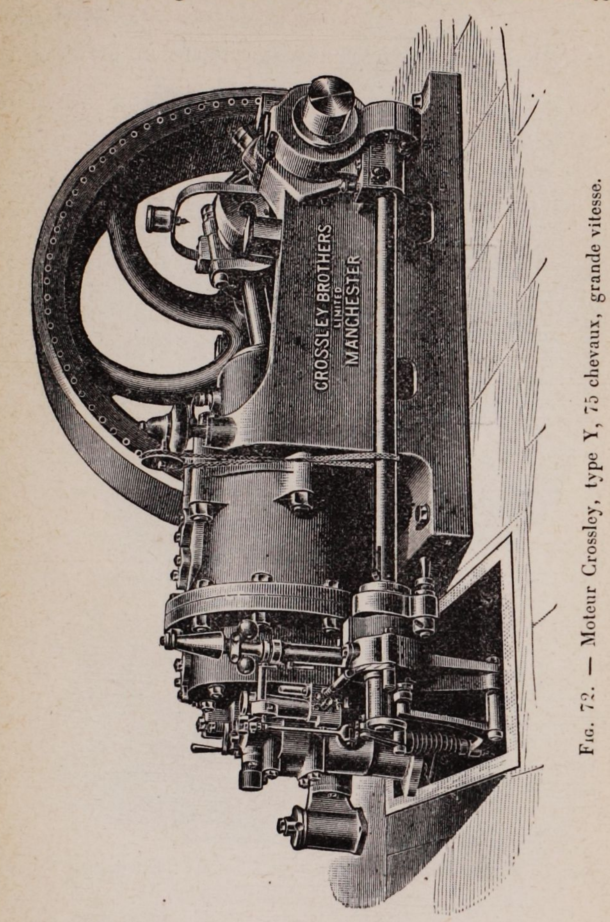


Fig. 72. — Moteur Crossley, type Y, 75 chevaux, grande vitesse.

Crossley ; nous représentons quelques-uns des plus récents. Le type Y (fig. 72) possède une puissance de 75 chevaux au gaz de ville riche ; toutes ses par-

ties sont facilement accessibles ; il présente de remarquables qualités de régularité et d'économie.

Pour les grandes puissances, on recommande le type Y 2 (fig. 71), formé de deux machines opposées, dont les pistons agissent alternativement sur un même arbre

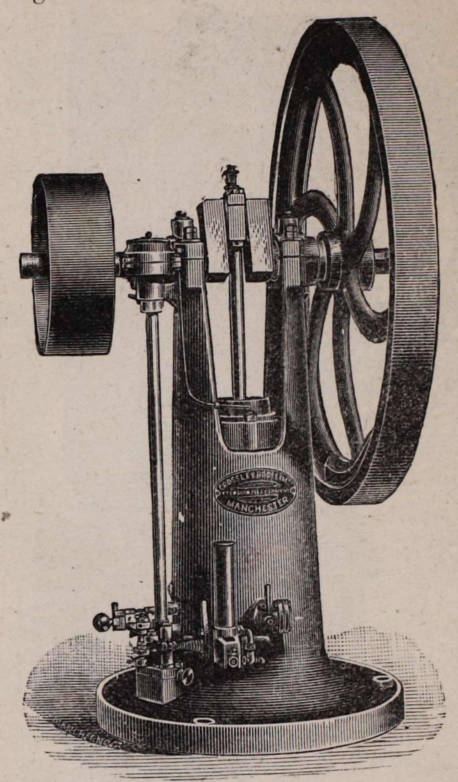


Fig. 73. — Moteur vertical Crossley, type JV et KV : distributeur à soupapes.

à vilebrequin. Le modèle représenté est de 150 chevaux. Le seul reproche qu'on puisse adresser à cet appareil, c'est de présenter une très grande longueur

et d'offrir quelques difficultés pour le démontage des pistons.

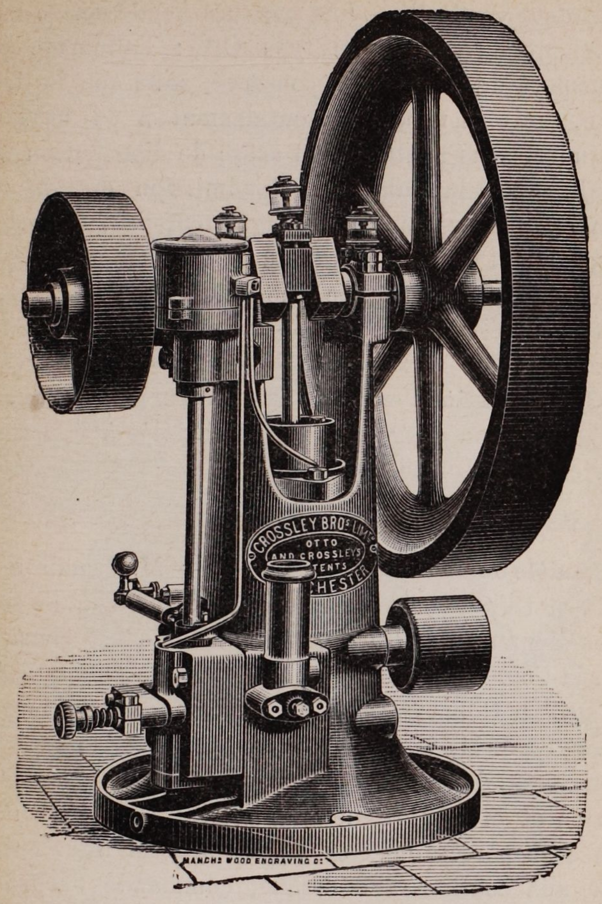


Fig. 74. — Moteur domestique Crossley, type HV.

Il existe des modèles spéciaux pour l'éclairage électrique, marchant à grande vitesse. Les moteurs

Crossley sont fréquemment alimentés par le gaz Dowson.

Moteur vertical. — Les moteurs verticaux se rapprochent davantage du type Otto : l'allumage par transport de flamme est conservé, ainsi que le tiroir plan, qui se meut horizontalement à la base du cylindre, sous l'action d'un arbre de distribution vertical, placé latéralement. L'admission du gaz est généralement réglée par un régulateur-pendule, monté directement sur l'extrémité du tiroir. Le modèle représenté (fig. 73) développe une puissance de 1 et 1,25 cheval ; le type HV (fig. 74) peut donner 3/8 de cheval.

Consommation. — Dans les moteurs Crossley, la consommation du gaz a pu être abaissée à 575 litres par cheval-heure.

Moteur Lenoir.

Modèle de la Compagnie du gaz. — M. Lenoir a repris en 1883 l'étude de son premier moteur et l'a complètement modifié ; le nouveau modèle est construit par la Compagnie parisienne d'éclairage au gaz et par la maison Rouart frères ; la figure 75 montre le premier type. M. Lenoir a complètement abandonné la marche à double effet et adopté le cycle à quatre temps et la compression préalable. Le cylindre est placé en porte-à-faux sur le bâti, et sa tige, guidée par une coulisse cylindrique, commande l'arbre de couche par l'intermédiaire d'une bielle et d'une manivelle. Il est divisé en deux parties : 1° le cylindre proprement dit, dans lequel se meut le piston, et qui est refroidi par un courant d'eau ; 2° une chambre de

compression et d'explosion, qui, n'étant pas refroidie par ce courant, reste toujours à une température élevée ; cependant les parois de cette chambre sont munies de larges ailettes, venues de fonte avec elles, pour les empêcher de rougir. Cette élévation de température est sans inconvénient, puisque le piston ne pénètre pas dans la chambre de compression, où ne se trouve d'autre organe que la soupape d'échappement, placée au centre de la culasse.

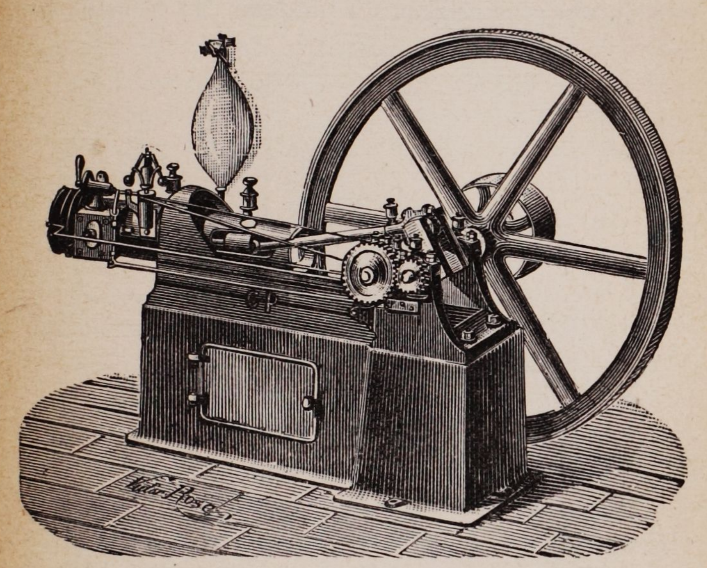


FIG. 75. — Moteur Lenoir, nouveau modèle, type de la Cie du gaz.

Distribution. — L'admission et la décharge sont commandées par un petit arbre de distribution, parallèle à l'arbre de couche, qui reçoit le mouvement de ce dernier par l'intermédiaire d'une paire de roues dentées, et fait un seul tour pour deux tours du volant.

Cet arbre porte deux excentriques et actionne les soupapes d'admission et de décharge par des leviers et des tringles.

La distribution se fait par une soupape placée sur le côté du cylindre et l'allumage est produit par une étincelle d'induction. Ce mécanisme est représenté figure 76 ; il comprend deux chambres voisines, réunies par une soupape *s*. L'air arrive dans la première chambre par la tubulure A et se mélange avec le gaz, introduit par les orifices du diffuseur B ; le mélange

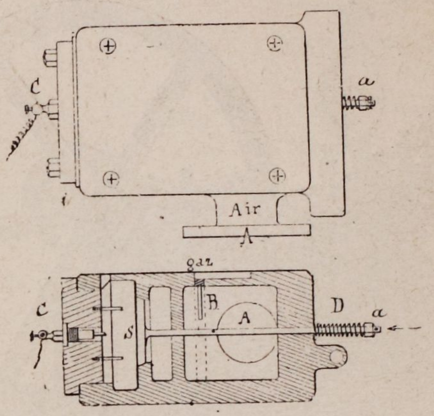


Fig. 76. — Moteur Lenoir ; distribution et allumage.

traverse alors la soupape *s*, qui s'ouvre sous la pression du levier *a*, commandé par l'arbre de distribution, et pénètre dans la seconde chambre ; l'allumage est produit en *c* par une étincelle, et l'explosion se propage dans la chambre de compression par un conduit non figuré, la soupape *s* étant refermée.

Allumage. — L'inflammateur électrique se compose d'une bougie isolante de porcelaine, contenant en son

centre une tige métallique terminée par une pointe de platine ; une seconde tige, placée à l'extérieur, se termine par une autre pointe située en face de la première. Les deux tiges étant reliées aux bornes d'une bobine d'induction, l'étincelle ne peut jaillir qu'entre les pointes, dont la distance est de 1,5 à 2 millimètres. L'étincelle est fournie par une petite bobine type Ruhmkorff, actionnée par deux éléments Delaurier ; pour la faire jaillir, il faut fermer un instant le circuit inducteur de la bobine ; ce résultat est produit par un ressort, relié à l'un des pôles de la pile, et une came reliée à l'autre pôle et fixée sur l'arbre de distribution.

Un régulateur à force centrifuge règle la vitesse en supprimant complètement l'admission du mélange détonant.

Modèle Rouart. — Le modèle construit par MM. Rouart frères ne diffère pas sensiblement de celui que nous venons de décrire ; cependant la soupape d'aspiration de la boîte d'admission est verticale au lieu d'être horizontale. Ce modèle est représenté figure 77.

Moteurs à deux cylindres. — Pour les puissances supérieures à 8 chevaux, la Compagnie du gaz construit des moteurs à deux cylindres conjugués, placés parallèlement, en porte-à-faux, sur un bâti unique. La distribution, le réglage et l'allumage sont commandés par un arbre unique, placé entre les deux cylindres, qui reçoit son mouvement de l'arbre de couche par l'intermédiaire de trois engrenages coniques et tourne deux fois moins vite que lui.

Entre les deux cylindres se trouve aussi une boîte d'admission commune, divisée en trois chambres : les gaz pénètrent d'abord dans la chambre médiane et

s'y mélangent, puis ils passent dans l'une des chambres extrêmes, où se produit l'inflammation. Les soupapes d'échappement sont sur les côtés des cylindres, à l'extrémité de la chambre de compression. Les chambres de compression sont encore munies d'ailettes et les cylindres entourés d'eau froide.

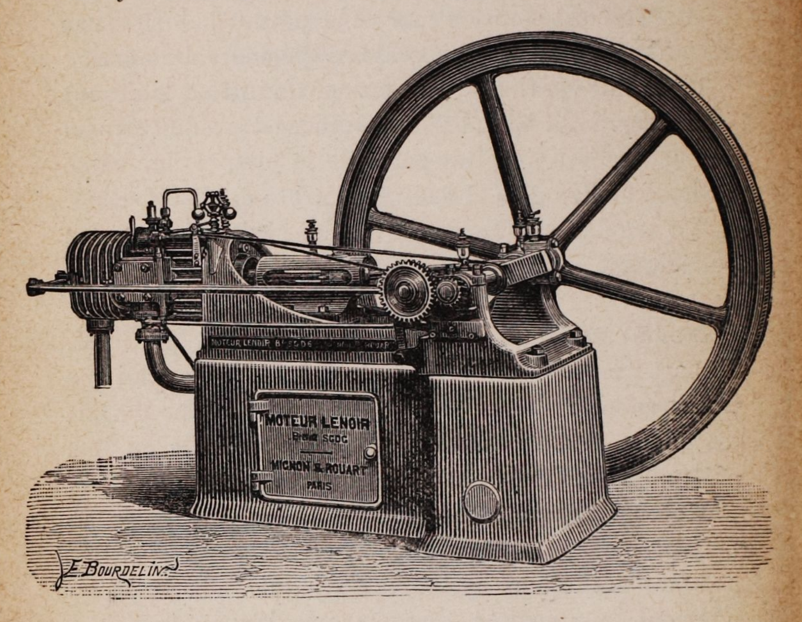


Fig. 77. — Moteur Lenoir, nouveau modèle, type Rouart.

Les moteurs à 2 cylindres de MM. Rouart frères diffèrent assez notablement du modèle qui précède. Ils se composent essentiellement de deux moteurs simples, placés côte à côte, avec deux boîtes d'admission distinctes, disposées extérieurement, de part et d'autre de l'appareil.

L'arbre auxiliaire est placé sous l'arbre de couche et traverse de part en part le bâti unique.

Consommation. — Dans les moteurs Lenoir, la consommation de gaz est inférieure à 600 litres par cheval-heure.

Moteur de la Compagnie du gaz.

La Compagnie parisienne du gaz construit aussi un moteur vertical (fig. 78) à quatre temps et à grande vitesse, qui présente les principales dispositions du moteur Lenoir, avec de notables perfectionnements.

Description. — Dans le cylindre se meut un piston sans tige ; la bielle est articulée directement sur ce piston et sur l'arbre manivelle qui porte le volant et la poulie motrice. Le gaz et l'air arrivent par deux soupapes placées dans la boîte qu'on voit à gauche, à la partie inférieure du cylindre : la soupape d'arrivée d'air est automatique et n'agit que par l'aspiration du piston ; la soupape d'admission de gaz est commandée par un levier fixé au cylindre ; elle est sous l'influence du régulateur à boules. La soupape d'échappement, renfermée dans la boîte qu'on voit à droite, est commandée par un levier coudé d'équerre, fixé au cylindre et mû par une came, fixée sur l'arbre vertical du régulateur. Les résidus de la combustion se rendent dans le réservoir d'échappement, situé dans le socle, et de là sont refoulés au dehors.

Le régulateur règle la vitesse et la consommation ; lorsque la vitesse dépasse l'allure normale, les boules s'écartent et entraînent un manchon mobile, portant la came qui commande le levier d'admission du gaz. Cette came ayant une forme conique, le levier qui

commande la soupape d'admission du gaz fait plus ou moins de course et par suite ouvre plus ou moins cette soupape.

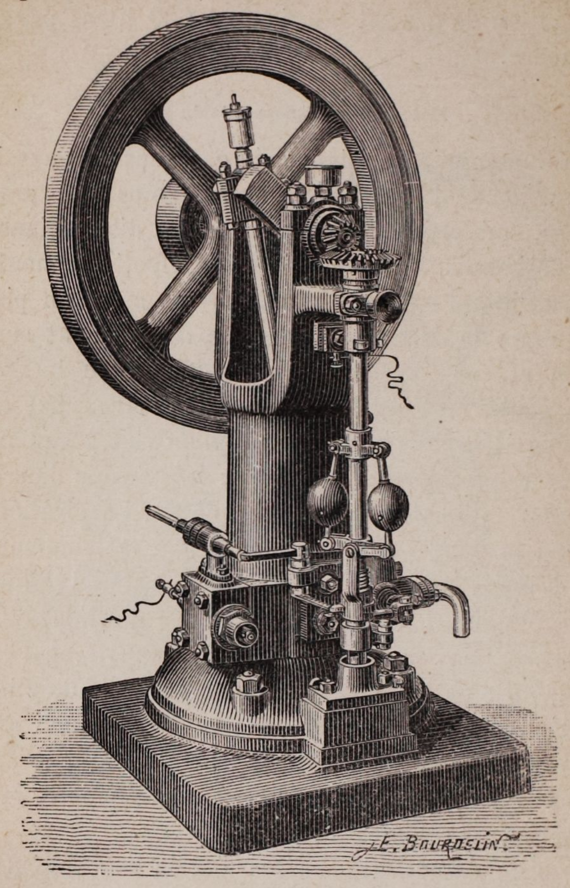


Fig. 78. — Moteur de la Compagnie du gaz.

Allumage. — L'allumage est obtenu par une étincelle éclatant dans la boîte de gauche à l'aide d'un in-

flammateur. La fermeture du circuit est produite par un contact alternatif, situé à la partie supérieure de l'arbre du régulateur. Le manchon est entouré d'un courant d'eau, qui sort à 70 ou 75°.

Consommation. — Dans cet appareil, la compression atteint 5 kgr. ; la consommation par cheval-heure ne dépasse par 1100 litres pour les modèles d'un cheval et est inférieure à 900 litres pour ceux de 3 chevaux. La vitesse s'élève à 400 tours pour les moteurs de 1/4 de cheval et seulement à 210 tours pour les moteurs les plus puissants, qui sont de 5 chevaux.

Moteur Kœrting-Lieckfeld.

Description. — Ce moteur, construit en France par MM. Boulet et Cie, est un des meilleurs moteurs verticaux (fig. 79). L'admission, l'allumage et l'échappement sont produits par des soupapes, qui sont toutes disposées côte à côte sur le devant de l'appareil, ce qui rend leur accès facile, et commandées par un arbre à cames, qui fait un tour pour deux du moteur.

Une soupape de mélange règle l'entrée de l'air et du gaz, de façon à les faire pénétrer dans le cylindre, lors de la première course du piston, en proportion constante. Les entrées de gaz et d'air sont fermées hermétiquement par un clapet : lorsque ce clapet se lève, le gaz pénètre par des lumières pratiquées dans sa partie cylindrique intérieure et l'air entre par l'ouverture démasquée par sa levée. L'air arrive de la partie inférieure du bâti, qui forme récipient d'air, et se mélange intimement au gaz en se rendant au cylindre.

Allumage. — L'allumage est produit par la fusée

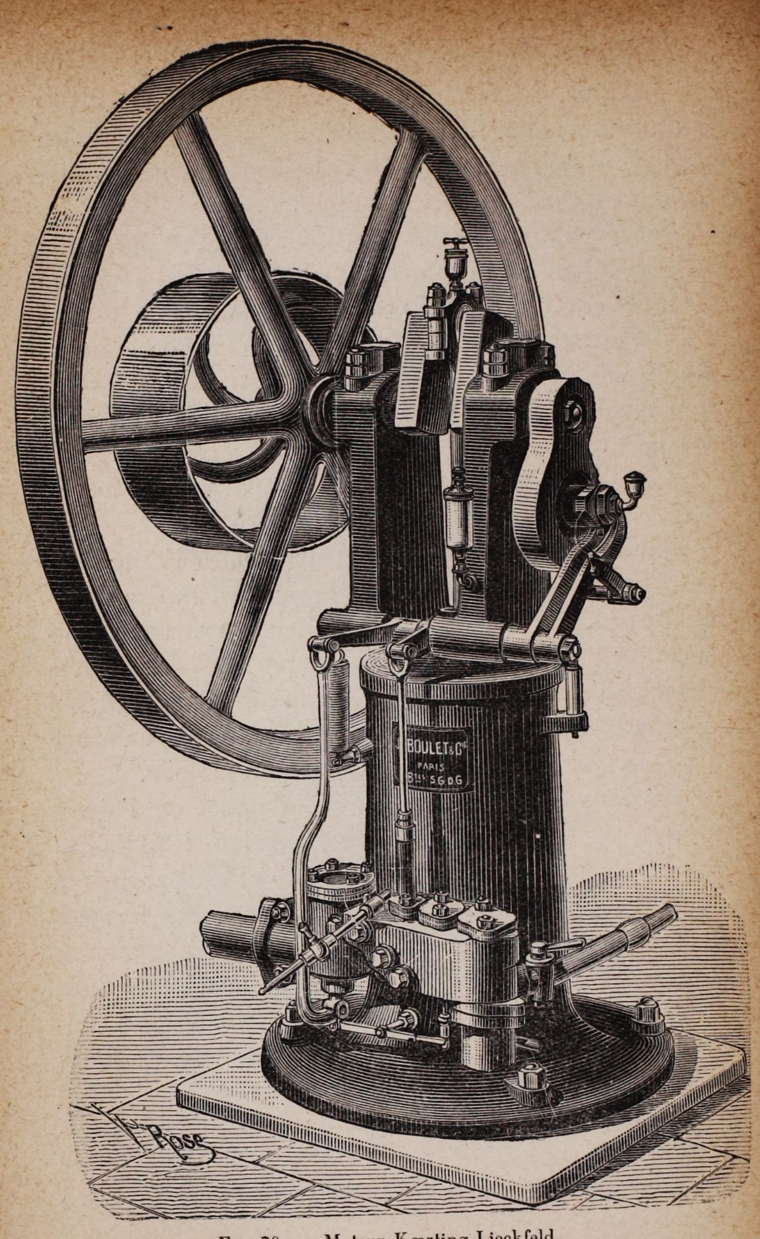


Fig. 79. — Moteur Kœrting-Lieckfeld.

Kœrting, dont voici le principe. Lorsqu'un gaz s'écoule d'un récipient avec une certaine vitesse, par un conduit conique dont le diamètre va en croissant, la pression va en diminuant dans ce conduit, depuis le réservoir jusqu'à l'atmosphère extérieure. Si ce gaz est combustible et qu'on l'allume à l'extrémité la plus large du conduit, la combustion se propage en sens inverse du courant gazeux et s'arrête au point où la

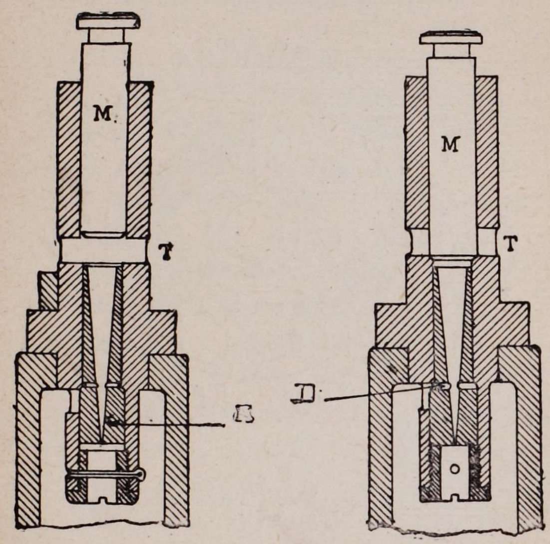


Fig. 80. — Allumeur Kœrting ouvert et fermé.

vitesse de ce courant est égale (et de sens contraire) à la vitesse de propagation de la flamme. Si l'on ferme alors brusquement la partie évasée du conduit, une petite explosion se produit et se propage par l'extrémité étroite dans le récipient.

L'allumeur Kœrting est représenté (fig. 80) dans les

positions correspondant à la compression et à l'explosion. Il se compose d'une soupape K et d'un cylindre M, actionné au moyen de leviers par une des cames de distribution. La soupape K est percée d'un trou conique, communiquant par sa partie étroite avec le mélange tonnant comprimé et par sa partie évasée avec la flamme d'un brûleur, qui allume en T le mélange.

Lorsque le cylindre mobile M s'abaisse, sous l'action de la came de distribution, il ferme brusquement

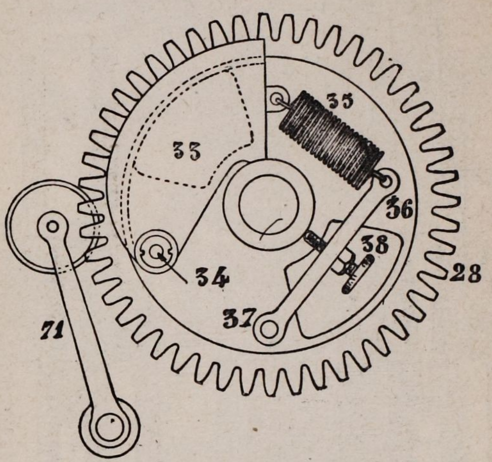


Fig. 81. — Régulateur du moteur Kœrting.

l'orifice évasé de la soupape K et la dégage de son siège en laissant à découvert son conduit transversal, par lequel la flamme, refoulée en D, allume le mélange comprimé dans le cylindre.

Echappement et réglage. — MM. Boulet et Cie ont modifié le type primitif du moteur Kœrting en ce qui concerne l'échappement. Tant que la vitesse reste normale, la soupape d'échappement s'ouvre régulière-

ment tous les deux tours, pour laisser échapper les produits de la combustion. Si la vitesse s'exagère, un dispositif assez simple maintient cette soupape ouverte et la soupape d'admission fermée, de sorte que le piston aspire et fait rentrer dans le cylindre, au lieu du mélange tonnant, les gaz brûlés qui viennent d'être expulsés ; l'appareil fonctionne donc à vide jusqu'à ce qu'il ait repris son allure normale.

Cet effet est obtenu au moyen de l'engrenage creux (fig. 81), qui renferme une masse métallique 33, mobile autour du point 34 et ramenée vers le centre par le ressort à boudin 35, dont on règle la tension, et par suite le nombre de tours du moteur, au moyen du levier 36, mobile autour du point 37, et de la vis 38. Lorsque l'appareil marche à l'allure normale, la masse 33 reste à l'intérieur de la roue ; lorsqu'il dépasse la limite fixée, cette masse s'avance un peu en dehors de la face plane de la roue et repousse le levier 71, qui agit sur la soupape d'échappement.

Consommation. — D'après les constructeurs, la consommation de gaz serait de 800 à 1000 litres par cheval-heure effectif, suivant la force, la qualité du gaz, etc. La consommation d'huile est très faible : on cite un moteur de 4 chevaux qui n'aurait dépensé que 0,18 fr. par jour pour le graissage.

Moteur horizontal. — MM. Boulet et Cie construisent aussi un moteur horizontal, avec distribution à soupapes et allumage par un tube de platine incandescent.

Modèle allemand. — Le moteur vertical construit en Allemagne diffère quelque peu du type que nous venons de décrire, surtout par la disposition de l'appareil d'allumage. L'enveloppe d'eau est prismatique

au lieu d'être conique. Ces moteurs se construisent jusqu'à 20 chevaux ; à partir de 10 chevaux, ils comprennent deux cylindres accolés.

Moteur « Le Triomphe ».

On donne ce nom, en France, au moteur Stockport, qui présente une certaine analogie avec le moteur Crossley.

Moteur horizontal. — Dans cet appareil (fig. 82), la distribution est effectuée par des soupapes, que commandent trois leviers coudés passant sous le cylindre ; ces leviers sont actionnés par des cames à bossages, placées sur l'arbre de distribution, qui est parallèle au cylindre et placé assez bas. L'arbre de couche porte deux volants.

Régulateur. — Au-dessus de l'arbre de distribution est disposé un régulateur extrêmement simple, qui règle la vitesse par l'admission du gaz combustible : ce régulateur se compose d'un poids, monté sur un ressort et mû par un levier oscillant, qui, tant que la machine conserve l'allure normale, maintient dans la position voulue un petit levier réglant l'introduction du gaz dans le cylindre. Si la vitesse devient trop grande, le poids prend une position différente et modifie l'inclinaison du levier pour obturer l'admission du gaz.

Les moteurs de grande puissance portent un régulateur à boules.

Allumage. — L'allumage se fait par un tube incandescent. Le dispositif comporte d'abord une soupape, qui empêche l'allumage prématuré et par conséquent la marche en arrière. Le tube incandescent est formé d'un alliage d'argent particulier, qui est infusible et

inoxydable, de sorte qu'il peut servir beaucoup plus longtemps que les tubes de fer.

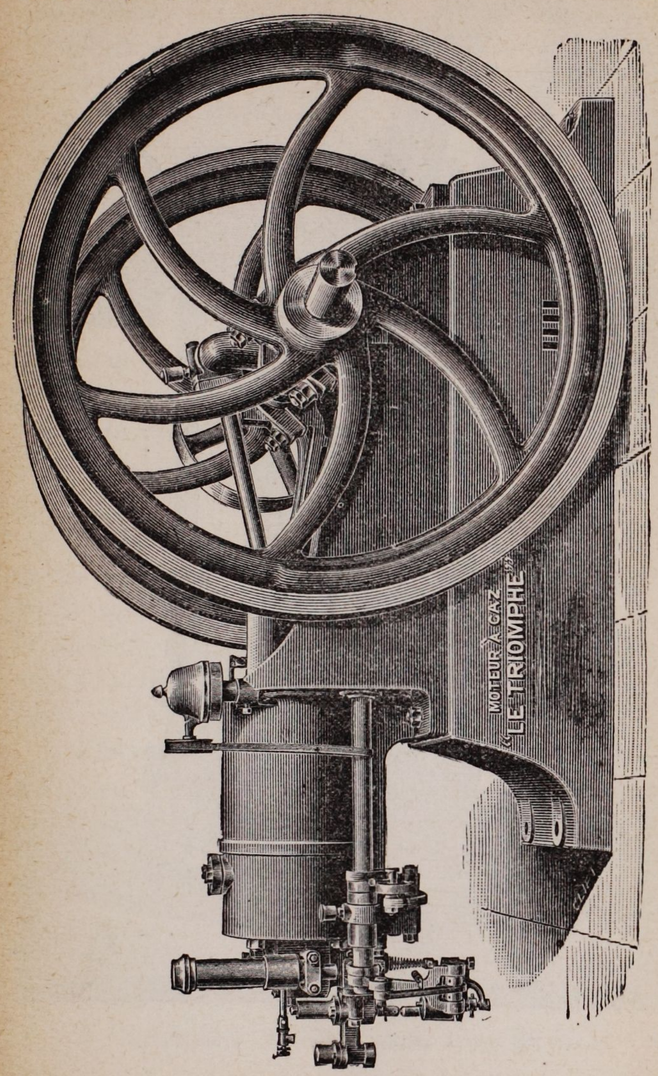


Fig. 82. — Moteur horizontal « Le Triomphe ».

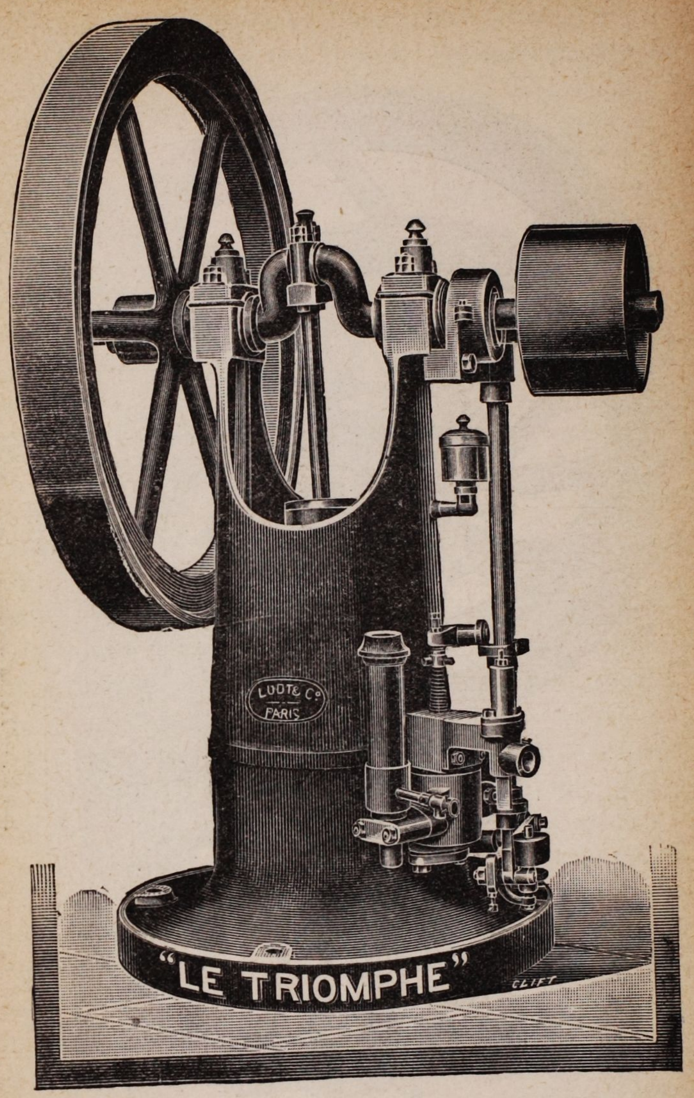


Fig. 83. — Moteur vertical « Le Triomphe ».

Consommation. — D'après les constructeurs, la consommation en gaz de ville est de 550 à 850 litres par cheval-heure effectif, suivant la puissance. La dépense d'huile serait réduite de 50 0/0, le piston et l'arbre moteur étant les seules parties qui aient besoin d'être constamment lubrifiées.

Moteurs doubles. — Au-dessus de 200 chevaux, ces moteurs se construisent à deux cylindres. Un modèle de 400 chevaux, à deux cylindres en tandem, a été récemment installé chez MM. Spicer et Cie, à Godalming (Surrey) ; il est alimenté au gaz Dowson ; la compression atteint 5 kgr.

Moteur vertical. — Pour les puissances inférieures à 5 chevaux, on construit un type vertical, dont la figure 81 montre suffisamment la disposition.

Moteur Tenting.

Ce moteur (fig. 84) est un des plus simples. Il se compose d'un cylindre venu de fonte avec le bâti. Le piston transmet le mouvement, au moyen d'une bielle, à l'arbre coudé, qui est placé au-dessus de l'axe du cylindre, de sorte que l'allumage ne se fait pas au point mort et la détente est plus rapide.

L'admission se fait automatiquement, par une soupape placée au centre de la culasse, et qui est munie d'un ressort. La soupape d'échappement est commandée par une tige qui reçoit de l'arbre un mouvement alternatif.

Jusqu'à 4 chevaux, il n'est pas nécessaire de refroidir par un courant d'eau : le cylindre est placé au centre d'une caisse ouverte en haut et en bas, et divisée en compartiments, le tout venu de fonte avec

le bâti. Les courants d'air verticaux, déterminés dans ces conduits par l'échauffement du fluide au contact

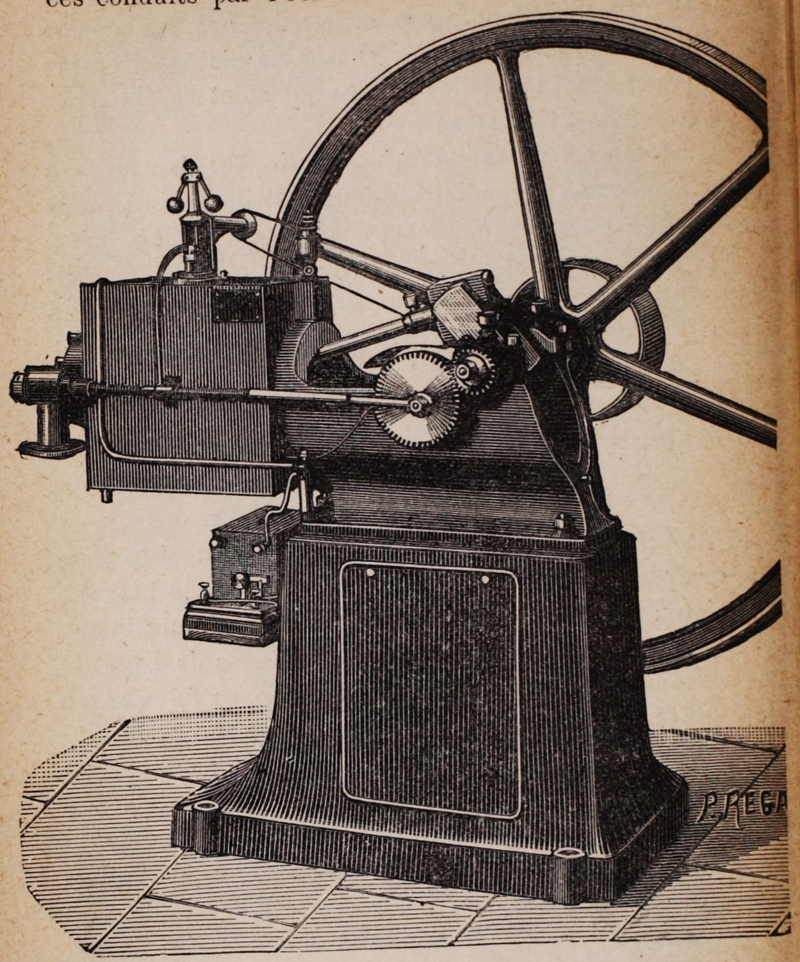


Fig. 84. — Moteur Tenting.

du cylindre, produisent un refroidissement suffisant

Le régulateur à boules maintient ouverte la soupape d'échappement, lorsque la vitesse est trop grande; comme la soupape d'admission est automatique, il n'entre aucune nouvelle charge de gaz tonnant jusqu'à ce que le moteur ait repris son allure.

Allumage. — L'allumage peut se faire par une étincelle ou par un tube chauffé au rouge par un chalumeau à gaz. Ce tube se place à la partie supérieure du cylindre, au-dessus de la chambre de compression.

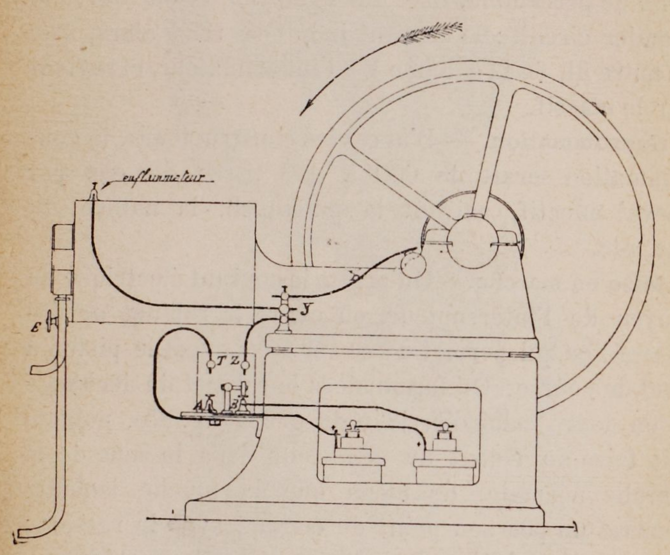


Fig. 85. — Moteur à gaz Tenting : allumage électrique.

L'allumage électrique est produit par une dérivation du courant induit, dont le circuit est toujours fermé. Une pile de deux éléments (fig. 85), montée en série et placée dans le socle du moteur, est reliée aux deux bornes AB de la bobine, qui est fixée sur une équerre

boulonnée sur le socle. L'une des bornes T du fil induit est constamment reliée au massif du moteur, par l'intermédiaire de l'écrou qui fixe la tablette de la bobine sur l'équerre en fer ; l'autre borne Z est reliée à la colonne de cuivre Y, qui porte un ressort X frottant sur le moyeu de la roue d'engrenage qui commande la soupape d'échappement. Le circuit induit est donc fermé d'ordinaire sur la masse du moteur ; mais, au moment voulu, le ressort X rencontre une touche isolante de porcelaine, fixée sur le moyeu, et qui ouvre le premier circuit ; le courant induit se rend alors, par un autre fil, de la colonne Y à l'inflammateur, et revient par le massif.

Consommation. — D'après les constructeurs, la consommation serait de 600 à 900 litres de gaz par cheval effectif, suivant la puissance, la nature du gaz, etc.

Mise en marche.— On arrête le courant électrique au moyen de l'interrupteur, on ouvre le robinet de décharge, ce qui permet d'amener sans effort le piston à fond de course. On ferme alors le robinet de décharge et on ouvre celui d'arrivée du gaz E (fig. 85), puis on fait faire au volant un demi-tour dans le sens de la marche normale, de façon que la touche isolante dépasse un peu son point de contact avec le ressort ; on rétablit enfin le courant et on tourne le volant en sens contraire de la marche normale jusqu'à ce que la touche rencontre le ressort ; l'étincelle se produit, enflamme le mélange, et le moteur se met en marche.

Lorsque l'allumage est produit par tube, la mise en marche se fait d'une façon analogue.

Moteur Forest.

M. Forest a imaginé plusieurs modèles de moteurs, dont un du premier type.

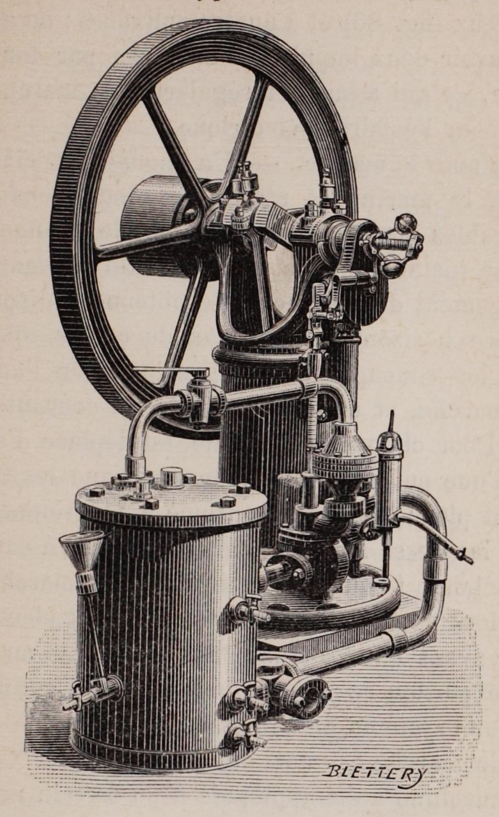


FIG. 86. — Moteur pilon Forest et Gallice à deux cylindres.

Modèle vertical. — Les plus intéressants sont ses moteurs verticaux, du genre pilon, qui sont à quatre temps et peuvent marcher au gaz ou au pétrole. Les

soupapes de distribution et d'échappement sont commandées par un arbre à cames, placé horizontalement au haut du cylindre. L'allumage se fait électriquement.

Moteur polycylindrique. — Ce moteur se construit aussi à deux (fig. 86) et à quatre cylindres ; on arrive ainsi à avoir deux impulsions motrices par tour de manivelle, ce qui assure la régularité de marche nécessaire pour l'éclairage électrique.

Modèle pour la marine. — Un modèle spécial est destiné à la marine et réalise les deux conditions indispensables pour cette application, le changement de marche instantané et la mise en train automatique. Le changement de marche a été obtenu en disposant sur l'arbre horizontal deux jeux de cames, qui actionnent les soupapes d'échappement pour l'une ou l'autre marche, et un commutateur du courant d'allumage. Pour changer de marche, on déplace d'abord l'arbre d'une petite quantité, de sorte que les cames n'agissent plus ; le moteur continue à fonctionner, en vertu de la vitesse acquise, mais il se borne à comprimer le mélange tonnant, ce qui ralentit sa marche. On achève alors de déplacer l'arbre : le circuit électrique se ferme avant que les manivelles n'arrivent au point mort. L'explosion se produit dans l'un des cylindres, et le second système de cames entre en jeu ; le changement de marche est ainsi obtenu sans choc.

Cette machine a été appliquée à un certain nombre de yachts.

Moteur Charon.

Principe ; détente variable. — Ce moteur est le plus souvent horizontal ; il est à quatre temps ; mais l'au-

teur a cherché à prolonger la détente, ce qui devrait être aujourd'hui l'objectif de tous les inventeurs, la plupart des autres perfectionnements ayant été déjà réalisés, et il y est arrivé sans trop de complications.

« Deux soupapes, placées sous la dépendance du régulateur, concourent à l'admission : la première livre passage à une quantité déterminée de gaz combustible ; la seconde, que traverse le mélange tonnant de gaz et d'air, est soulevée par une came pendant toute la durée de l'aspiration, mais elle reste encore ouverte un temps plus ou moins long pendant que le piston revient sur lui-même. Il en résulte que la quantité de mélange conservée dans le cylindre est variable ; le gaz qui échappe à la compression est pour ainsi dire remisé dans un long tuyau en spirale, d'où il est repris à l'aspiration suivante. La détente change, par conséquent, avec la compression (A. Witz). » La quantité du mélange explosif retenue dans le cylindre est donc déterminée par le régulateur. Quand le piston commence sa deuxième course (retour en arrière), l'accès du gaz est immédiatement intercepté, mais la seconde soupape reste ouverte un temps plus ou moins long, suivant le besoin, puis la compression se fait ; l'explosion et l'expulsion du gaz constituent, comme d'ordinaire, les deux dernières courses.

Quant au mélange rejeté au commencement de la seconde course, il n'est pas perdu : le tube dans lequel il est en quelque sorte remisé communique librement avec l'atmosphère par sa partie inférieure et sert pour l'introduction de l'air : le mélange est donc rappelé dans le cylindre au coup de piston suivant ; de plus, le tube est assez long pour que le mélange ne risque pas

de se répandre dans l'atmosphère. Ce serpentin est placé dans un récipient qu'on voit en avant de la figure 87.

Fig. 87. — Moteur horizontal Charon.

Description. — Pour le reste, le moteur Charon ne

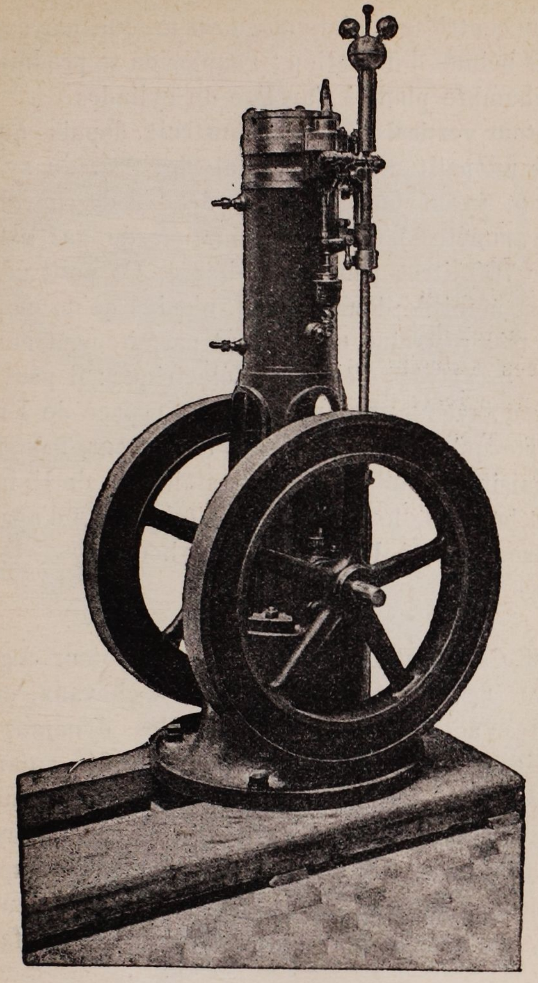


Fig. 88. — Moteur vertical Charon.

diffère pas sensiblement des moteurs à quatre temps déjà

décrits. La distribution se fait au moyen de soupapes, que commande un arbre horizontal. Le régulateur est à force centrifuge. L'allumage est produit par une pile et une bobine d'induction : l'explosion se produit dans une chambre plane à l'arrière du cylindre.

Moteur vertical. — On construit depuis quelque temps un petit moteur vertical (fig. 88), du système Charon, ayant une puissance de 4/3 de cheval (100 kilogrammètres). La consommation de gaz garantie est de 700 litres par cheval-heure. Ce petit moteur, qui est muni de deux volants, n'exige qu'un emplacement très restreint et convient parfaitement aux installations privées d'éclairage électrique : il peut alors se loger, avec la dynamo, dans un espace de 1 m. q., de sorte qu'on peut l'installer facilement, même dans une cuisine. Pour une petite installation de 15 lampes de 10 bougies, le prix moyen s'élèverait, d'après les constructeurs, à 14 centimes par heure.

Moteur Cadiot.

MM. Cadiot et Cie construisent des moteurs à grande vitesse (fig. 89), ne dépassant pas 5 chevaux, et destinés à actionner directement les dynamos pour l'éclairage. Ces moteurs ont été simplifiés autant que possible. La distribution se fait par deux soupapes, une pour l'admission du mélange tonnant, l'autre pour l'échappement. Un régulateur très simple supprime l'admission lorsque la vitesse dépasse sa valeur normale, qui est de 350 tours. L'allumage se fait par tube.

Le moteur « Maurice », qui se construit pour 1/8 et 1/3 de cheval, porte deux volants et est muni de pa-

liers en bronze réglables. L'allumage se fait au moyen d'un tiroir à glissière.

Dans le « Marcel », le tiroir est remplacé par un

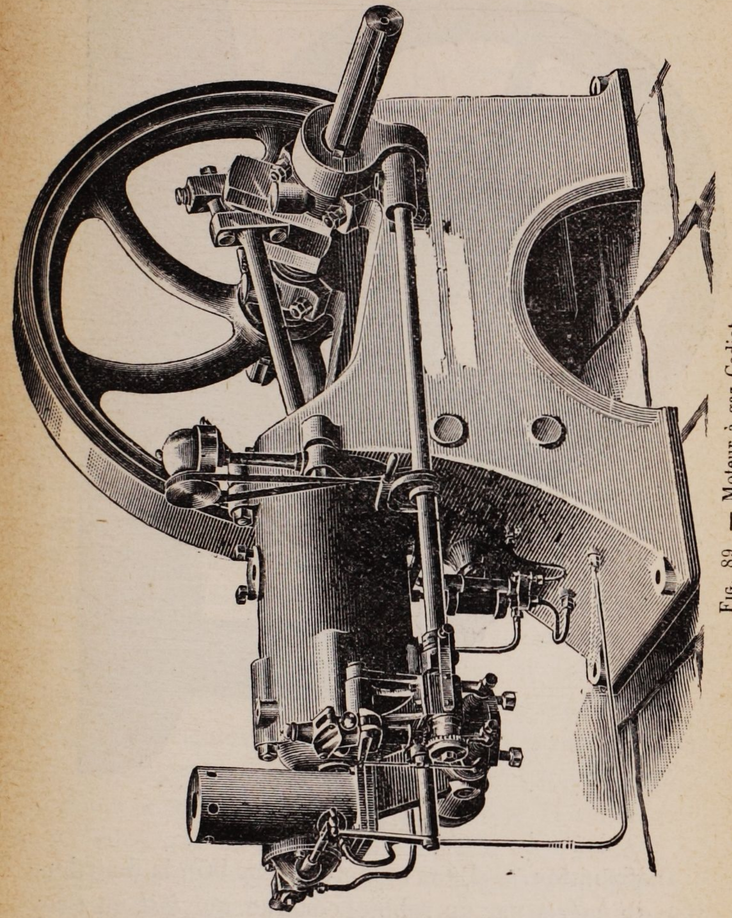


Fig. 89. — Moteur à gaz Cadiot.

tube porté au rouge, dans lequel vient s'enflammer le mélange. Les deux soupapes sont commandées par

une came. Ce modèle se construit pour 1 et 1,5 cheval.

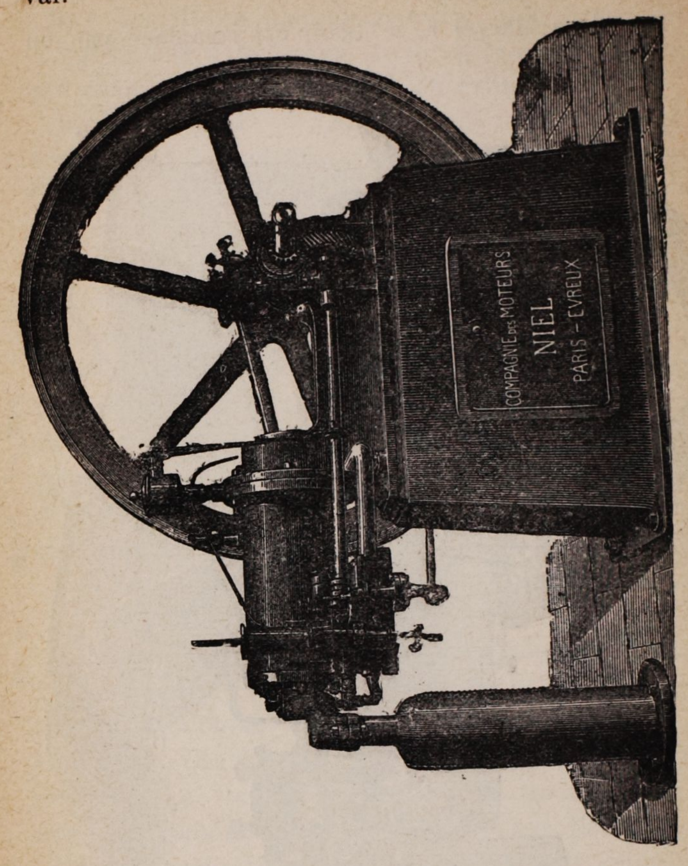


Fig. 90. — Moteur à gaz Niel.

Moteur Niel.

Distribution. — Dans ce moteur (fig. 90), la distribution est opérée par un robinet conique, qui fait un tour pour deux tours de l'arbre de couche. Dans sa rotation, ce robinet ouvre d'abord un large passage au mélange

tonnant, qui est aspiré seulement pendant les deux tiers de la première course ; après la compression, il fait communiquer, par un conduit oblique, le cylindre avec l'appareil d'allumage, qui se compose d'un tube de fer maintenu incandescent par un bec Bunsen ; enfin la décharge s'effectue par une large soupape, placée en face de l'orifice d'admission et actionnée par un levier, qui passe sous le cylindre et reçoit son mouvement d'une came placée sous l'arbre de distribution.

L'aspiration du mélange tonnant n'ayant lieu que pendant les deux tiers de la première course, la détente se trouve augmentée ; mais, pour la même raison, la compression est moindre ; il n'est donc pas certain que le rendement soit amélioré par cette disposition.

Régulateur. — La figure 90 montre, outre le bec Bunsen qui maintient au rouge le tube d'allumage, le dispositif ingénieux qui est employé pour régler la vitesse dans le moteur Niel. L'arbre, dont on voit la coupe au centre, porte les deux cames qui produisent, l'une l'admission en soulevant la tige E, l'autre la décharge en abaissant le galet G et le levier *l*. La tige E, en se soulevant, fait osciller autour de son extrémité O le balancier placé au-dessus d'elle, et celui-ci entraîne dans son mouvement une sorte d'étoile à trois branches articulée à son autre bout. La branche T′ est un doigt de réglage, L est un ressort et C un déclic. Lorsque le balancier se soulève, le doigt T′ rencontre une butée qui le fait pivoter et plie le ressort L ; lorsque E redescend, le ressort se détend brusquement et lance le déclic C, qui, par l'intermédiaire du taquet T, appuie sur la soupape d'admission du gaz S et la fait ouvrir.

Mais la détente du ressort demande un certain temps ; si l'arbre tourne trop vite, le déclic agit trop tard sur la soupape S, qui reste fermée ; l'air est seul

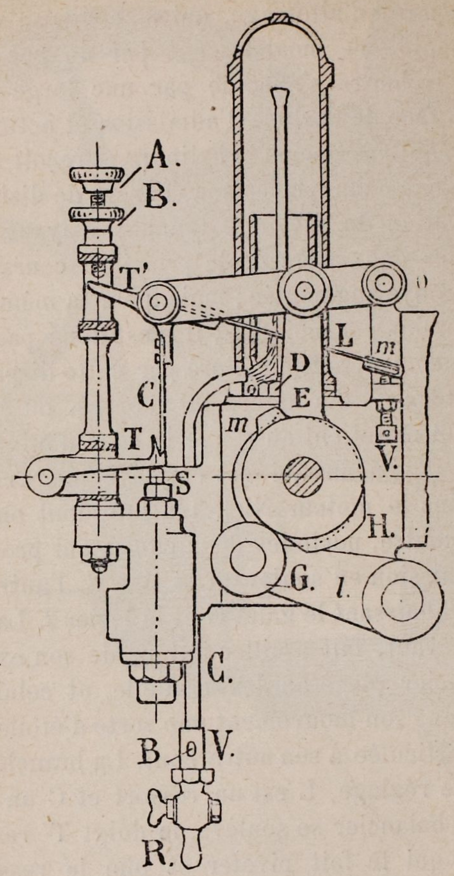


Fig. 91. — Moteur Niel : régulateur.

aspiré et l'explosion ne se produit pas. On règle la vitesse par la position de la butée ; il importe que le

ressort ne se déforme pas et ne perde pas de son élasticité.

Le mentonnet *m* de la came de décharge sert à limiter l'aspiration, comme nous l'avons indiqué plus haut.

Moteur Grob.

Ce moteur dérive d'un modèle proposé d'abord par M. E. Capitaine, qui cherchait, avec raison, à obtenir de grandes vitesses.

Dans cet appareil (fig. 92), le cylindre, qui est vertical, est ouvert à la partie inférieure et travaille de haut en bas, comme dans les machines à pilon. L'arbre de couche, le volant et la poulie motrice se trouvent donc à la partie inférieure.

Distribution et régulateur. — La distribution se fait par soupapes : l'admission est automatique. Le régulateur agit sur la soupape de décharge et la maintient ouverte, quand le moteur dépasse l'allure normale, de sorte qu'il ne se produit plus d'admission jusqu'à ce que la vitesse ait repris sa valeur réglementaire.

M. Capitaine a imaginé de faire arriver les deux gaz, après qu'ils ont traversé la soupape automatique, dans une chambre annulaire où ils se mélangent intimement, en prenant un mouvement de giration très rapide ; la vitesse du jet se trouve ensuite ralentie, d'abord par le choc du courant gazeux contre une chicane, puis par la forme en coupole de la culasse. Cette disposition serait destinée à empêcher les gaz tonnants de se mélanger avec les restes de la combustion précédente, et à produire une sorte de stratification. Quoi qu'il en soit de cette explication, le mélange tonnant,

une fois comprimé, s'allume spontanément, au moment voulu, sans l'intermédiaire d'aucune soupape. La sou-

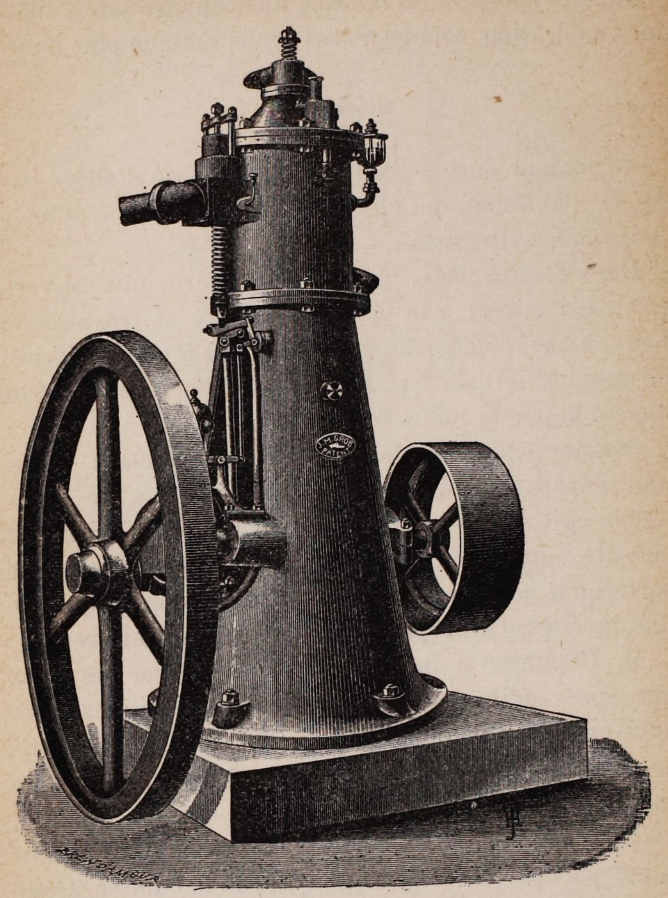


Fig. 92. — Moteur à gaz Grob.

pape de décharge est placée latéralement, à la base de la coupole de la culasse.

Consommation. — La consommation serait, d'après les constructeurs, de 650 à 1000 litres par cheval-heure, suivant la puissance. Le graissage se fait automatiquement.

Le moteur Grob est surtout employé comme moteur à pétrole, ainsi que nous l'indiquons plus loin.

CHAPITRE X

MOTEURS DU SECOND TYPE A SIX TEMPS

Moteur Griffin. — Moteur Rollason.

Tandis que certains inventeurs conservent dans le cylindre de leur moteur une partie des gaz brûlés précédemment pour rendre l'explosion moins rapide et la marche de la machine moins brusque, d'autres au contraire ont cherché à expulser soigneusement les produits de la combustion, afin de conserver au mélange tonnant sa pureté, et d'avoir par suite une explosion plus rapide ou d'employer moins de gaz. Nous avons déjà vu certains dispositifs destinés à atteindre ce but et nous en trouverons d'autres dans l'étude des moteurs à pétrole. Actuellement, nous avons à signaler une solution particulière de cette question, qui consiste à ajouter au cycle à quatre temps deux courses, pendant lesquelles la machine aspire, puis refoule une charge d'air pur destinée à entraîner avec elle les produits de la combustion précédente.

Le cycle comprend alors six courses :

1° Aspiration du mélange tonnant ;

2° Compression de ce mélange ;

3° Explosion et détente ;

4° Refoulement et échappement des gaz brûlés ;

5° Aspiration d'air pur ;

6° Refoulement et échappement de cet air et des gaz brûlés.

Une telle machine n'exige pas d'autres organes

essentiels que les moteurs à quatre temps, mais on n'aura qu'une explosion tous les trois tours ; la marche ne deviendra donc possible qu'avec de grandes vitesses et de forts volants et elle sera encore moins régulière. Mais, comme l'air pur introduit au cinquième temps a pour effet de refroidir les parois, on peut faire disparaître les inconvénients que nous venons d'indiquer en employant des moteurs à double effet, qui n'exigent que des volants ordinaires et fonctionnent régulièrement.

Les moteurs de cette classe sont les seuls qui se construisent encore à double effet. D'ailleurs ils sont peu répandus, si ce n'est en Angleterre.

Moteur Griffin.

Le moteur Griffin utilise le cycle à six temps, que nous venons de décrire. Un tiroir plat, unique, commandé par une bielle, effectue l'admission et l'allumage. Les deux soupapes d'échappement sont actionnées par deux cames, qui les ouvrent à chaque tour et demi, de manière à provoquer la décharge de chaque côté du piston alternativement. Le régulateur agit sur un taquet rectangulaire, qui maintient la valve d'admission du gaz ouverte plus ou moins longtemps, suivant la vitesse. Au-dessus de 6 chevaux, le tiroir est remplacé par des soupapes.

Une machine de 12 chevaux consomme 792 litres par cheval-heure.

Moteur Rollason.

L'inventeur s'est proposé de réunir les avantages des moteurs Otto et Lenoir, tout en employant le

cycle à six temps pour chasser complètement les gaz brûlés.

Comme dans le moteur Otto, le cylindre est en porte-à-faux sur le bâti, et un tiroir plat, se déplaçant devant la culasse, produit l'admission et l'allumage, qui se fait par transport de flamme. Un arbre de distribution, parallèle au cylindre et faisant un tour pour trois du volant, commande ce tiroir, ainsi que la soupape d'échappement et le régulateur.

Comme dans le moteur Lenoir, on a fait usage d'un réchauffeur, afin de maintenir à une température aussi élevée que possible les parois de la chambre de combustion.

Les moteurs destinés à la conduite des dynamos sont munis d'un régulateur électrique : une bobine creuse reçoit le courant continu d'une petite machine, entraînée par le moteur; dans l'intérieur de cette bobine glisse un noyau de fer doux, qui s'élève plus ou moins, suivant l'intensité du courant et par conséquent suivant la vitesse du moteur, et qui actionne, par un levier coudé, une valve réglant l'admission du gaz combustible.

M. Rollason pense que l'expulsion des gaz brûlés et la forte compression permettent d'utiliser des mélanges très dilués, qui, sans ces précautions, donneraient des ratés ; il n'y aurait alors aucun inconvénient à opérer le réglage par variation du volume de gaz combustible.

Cet appareil est muni d'un self-starting automatique.

CHAPITRE XI

MOTEURS DU TROISIÈME TYPE

Dans ces machines, il n'y a plus d'explosion ; elle est remplacée par une combustion à pression constante. Le mélange tonnant, préalablement comprimé, pénètre dans le cylindre pendant une partie de la course avant et brûle au fur et à mesure, puis se détend pendant le reste de la course ; les produits de la combustion sont refoulés et expulsés pendant la course arrière. Le cycle, qui se rapproche de celui des moteurs à air chaud d'Ericson, comprend donc :

1° Aspiration du mélange ;

2° Compression ;

3° Combustion à pression constante ;

4° Détente ;

5° Échappement des gaz brûlés.

Ces moteurs ne sont pas sensiblement inférieurs aux moteurs à quatre temps, surtout lorsque la compression préalable est assez forte. D'ailleurs on peut ici comprimer fortement sans aucun inconvénient, car la combustion se fait à pression constante, tandis que, dans les moteurs à quatre temps, la pression peut se trouver triplée après l'explosion. D'après M. Witz, ces moteurs, qui se font remarquer par une grande douceur de fonctionnement, seraient appelés à un certain avenir, au moins dans le cas des grandes puissances, car, dans ce cas, l'adjonction d'un compresseur,

si elle complique un peu le mécanisme, n'augmente pas sensiblement la dépense.

Les moteurs à combustion sont peu répandus ; le plus intéressant est le moteur Brayton, que nous décrirons parmi les moteurs à pétrole.

CHAPITRE XII

MOTEURS DU QUATRIÈME TYPE

Moteurs atmosphériques : moteur Otto et Langen. — Moteurs mixtes : moteur de Bisschop.

Nous avons rangé dans cette catégorie deux groupes de moteurs, les moteurs atmosphériques et les moteurs mixtes.

MOTEURS ATMOSPHÉRIQUES.

Dans les moteurs atmosphériques, l'explosion ne sert qu'à lancer, comme un projectile, le piston rendu, pendant cette période, indépendant de l'arbre de couche ; le mouvement ne s'arrête que lorsqu'il s'est produit sous le piston un certain vide, par suite de la détente et du refroidissement des gaz brûlés, et le piston redescend en course motrice sous l'action de l'atmosphère, entraînant avec lui l'arbre de couche et le volant.

Le cycle comprend donc :

1° Aspiration du mélange sous la pression atmosphérique ;

2° Explosion à volume constant en course libre ;

3° Détente ;

4° Refoulement du piston par l'atmosphère en course motrice ;

5° Échappement des gaz brûlés.

Otto et Langen furent conduits à adopter ce cycle

en 1867, parce qu'ils pensèrent que l'échauffement considérable du cylindre dans le moteur Lenoir était dû à la vitesse trop faible du piston. Ils obtinrent des résultats remarquables pour l'époque, car leur machine ne consommait que 900 litres par cheval-heure effectif, tandis que les autres moteurs en exigeaient alors environ 2000. Le cycle décrit est excellent ; l'action nuisible de la paroi, pendant la course avant, est réduite autant que possible par l'instantanéité de la détente, et cette action joue au contraire un rôle utile pendant la course motrice, car elle contribue à diminuer la pression des gaz brûlés. Malgré ces avantages, la machine d'Otto et Langen a été abandonnée, ainsi que les autres moteurs atmosphériques, à cause de leur marche peu régulière et du bruit qui accompagne l'explosion, et qui devient excessif pour les forces supérieures à deux chevaux. Nous dirons cependant quelques mots du moteur Otto et Langen, à cause de sa grande importance historique.

Moteur Otto et Langen.

Ce moteur (fig. 93) est vertical. Le piston se meut dans un cylindre très long ; sa tige est terminée par une crémaillère, qui engrène avec une boîte à frein, folle sur l'arbre de couche pendant l'ascension du piston et solidaire de cet arbre seulement pendant la descente.

Le mélange est introduit à la partie inférieure du cylindre et enflammé par un jet de gaz ; le piston est lancé vers le haut par l'explosion et, grâce à la vitesse acquise, il s'élève jusqu'à ce que la détente et le refroidissement des gaz aient produit un vide partiel

au-dessous de lui. Il redescend alors, poussé par la pression atmosphérique et le poids des organes mo-

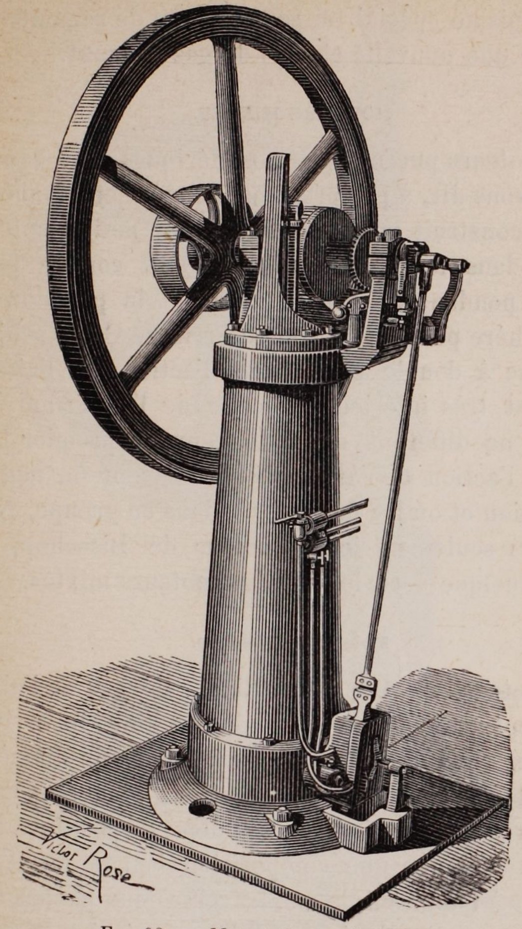


Fig. 93. — Moteur Otto et Langen.

biles. Mais, comme il se développe progressivement au-dessous de lui une contre-pression, à un certain

moment, le piston redevient libre pour achever sa course et finir d'expulser les produits des gaz brûlés. Un mécanisme spécial lui permet alors de remonter et d'aspirer une nouvelle charge de gaz tonnant.

MOTEURS MIXTES.

Les moteurs purement atmosphériques sont, comme nous l'avons dit, à peu près abandonnés actuellement ; mais on construit un grand nombre de petits moteurs mixtes, dans lesquels l'explosion agit comme force motrice pendant la course avant et la pression de l'atmosphère pendant la course arrière. Ces machines sont donc à double effet, mais l'action de l'atmosphère est très inférieure à celle de l'explosion. Ces moteurs ne diffèrent donc de ceux du premier type que par l'action de l'atmosphère ; souvent on néglige cette action et on les fait rentrer dans ce groupe. Nous décrirons seulement ici le moteur de Bisschop, qui est en quelque sorte le type des moteurs mixtes.

Moteur de Bisschop.

Ce moteur (fig. 92) est vertical. Le gaz et l'air se mélangent avant de parvenir à la machine ; ils arrivent par deux conduits à angle droit, mais de diamètres différents, et traversent ensuite deux plaques percées de trous en nombre inégal ; ces deux dispositions donnent au mélange une composition constante. Avant d'arriver à l'appareil, le gaz traverse deux poches dont l'une, comme d'ordinaire, sert de magasin à gaz, tandis que l'autre forme régulateur et limite la vitesse, en ne fournissant que juste la quantité de gaz nécessaire pour cette limite.

L'admission et l'échappement sont réglés par un

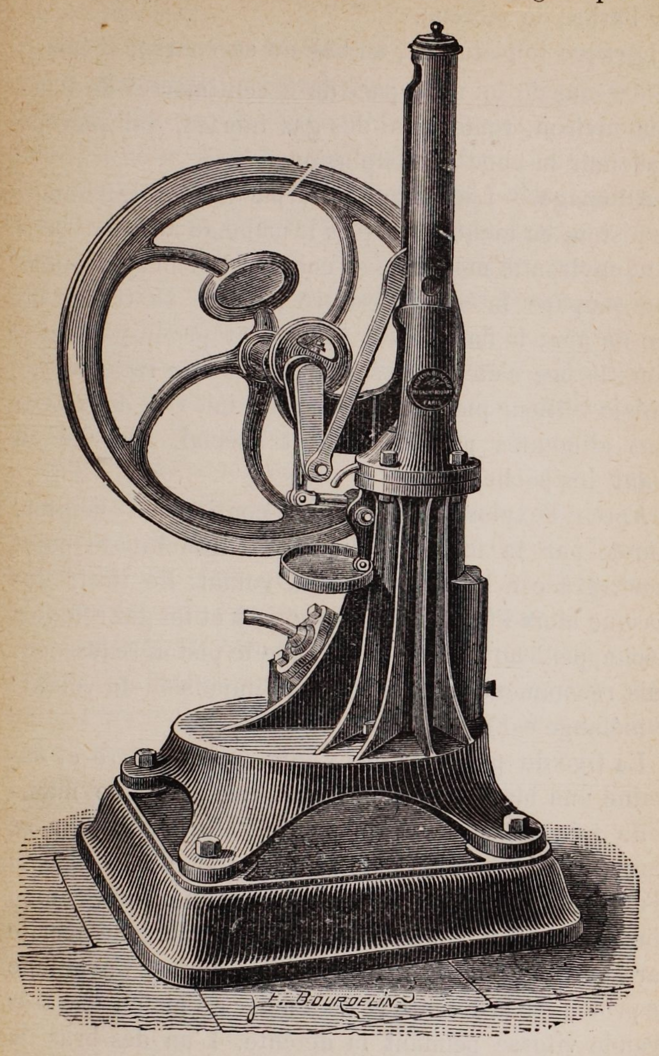


Fig. 94. — Moteur de Bisschop.

tiroir cylindrique, que commande un excentrique calé sur l'arbre du moteur.

Lorsque le piston est au bas de sa course, il laisse au-dessous de lui un espace de 3 centimèrres de hauteur environ, renfermant des gaz inertes, qui servent à adoucir le choc de l'explosion.

Allumage. — L'allumage se fait par succion de flamme. Le piston, en montant, aspire le mélange détonant pendant environ la moitié de sa course ; il démasque alors une soupape latérale, derrière laquelle se trouve un bec de gaz; la flamme est aspirée et produit l'explosion ; le bec s'éteint et se trouve ensuite rallumé par un bec veilleur placé au-dessous de lui. Ces deux becs sont alimentés par un conduit spécial, branché en avant des poches à gaz.

Après l'explosion, le piston continue à monter, poussé par la force élastique, et franchit le point mort, grâce à la force vive du volant. Le tiroir démasque alors l'orifice d'échappement et les gaz refoulés s'échappent au dehors, tandis que le piston redescend, puis recommence à monter sous l'impulsion du volant: le mélange est alors aspiré de nouveau.

La tige du piston se meut dans une glissière et entraîne une bielle en retour, articulée avec une manivelle très rapprochée du piston. L'arbre moteur se trouve ainsi en dehors de la direction de la tige du piston, ce qui permet de donner à celui-ci une course plus grande que le diamètre de la circonférence décrite par l'extrémité de la manivelle. On a ainsi l'avantage de prolonger la détente et de donner au piston une très grande vitesse pendant la détente. L'un des bras du volant porte une masse qui fait équilibre à la bielle,

au piston et à sa tige, ce qui facilite l'ascension des pièces mobiles.

Le cylindre est fondu avec son soubassement et porte un grand nombre d'ailettes, qui facilitent le refroidissement ; il est muni d'un guidage cylindrique, dans lequel se meut le tiroir distributeur. Le couvercle supérieur est fondu avec le coulisseau alésé qui sert de glissière à la tige du piston et avec le canon dans lequel tourne l'arbre de couche. Cet arbre porte l'excentrique qui commande le tiroir par l'intermédiaire d'un petit balancier.

Avantages. — Le moteur de Bisschop présente de nombreux avantages, qui le recommandent particulièrement à la petite industrie. Il est très simple et très robuste, parfaitement mobile, facile à installer, même aux étages supérieurs, et complètement silencieux. Il n'exige pas de courant d'eau ; le piston et le tiroir ne doivent pas être graissés, de sorte que l'appareil peut fonctionner longtemps sans s'encrasser.

Ce moteur se construit seulement pour les puissances inférieures ou égales à un cheval ; il est probable qu'il perdrait tous ses avantages pour des puissances élevées.

CHAPITRE XIII

MOTEURS A PÉTROLE

Moteurs à essence de pétrole : Lenoir, Durand, Tenting, Daimler, Otto. — Moteurs à huile de pétrole : Otto, Priestman, Crossley, Grob, Niel, Kœrting-Lieckfeld, « Ready motor » de Brayton.

Nous avons indiqué plus haut (chap. IV) les caractères généraux des moteurs à pétrole. Nous décrirons d'abord les machines qui utilisent la gazoline ou essence de pétrole, ayant une densité d'environ 0,700, puis ceux qui marchent à l'huile lampante, de densité moyenne 0,800, ou même aux huiles lourdes. Nous avons placé entre ces deux parties du chapitre, pour servir de transition, les moteurs Otto, qui comprennent un modèle fonctionnant à l'essence et un autre à l'huile de pétrole.

Moteur Lenoir.

Ce moteur est alimenté par l'essence de pétrole ; il diffère peu du modèle à gaz.

Carburateur. — M. Lenoir a cherché à faire parcourir constamment au mélange d'air et d'hydrocarbure une marche descendante, afin d'éviter qu'il se produise une séparation entre les deux éléments de ce mélange.

Pour cela, le carburateur est placé au-dessus du cylindre (fig. 95), de sorte que le voisinage de cet organe compense la perte de chaleur due à l'éva-

poration. Il se compose d'un cylindre horizontal A (fig. 96), mobile autour de son axe, et muni intérieurement d'augets *aa*. On introduit la provision d'essence par un orifice M, muni d'un bouchon à vis. Les augets se remplissent en passant à la partie inférieure du cylindre et laissent échapper le liquide pendant la seconde partie de la rotation, de sorte que le carbu-

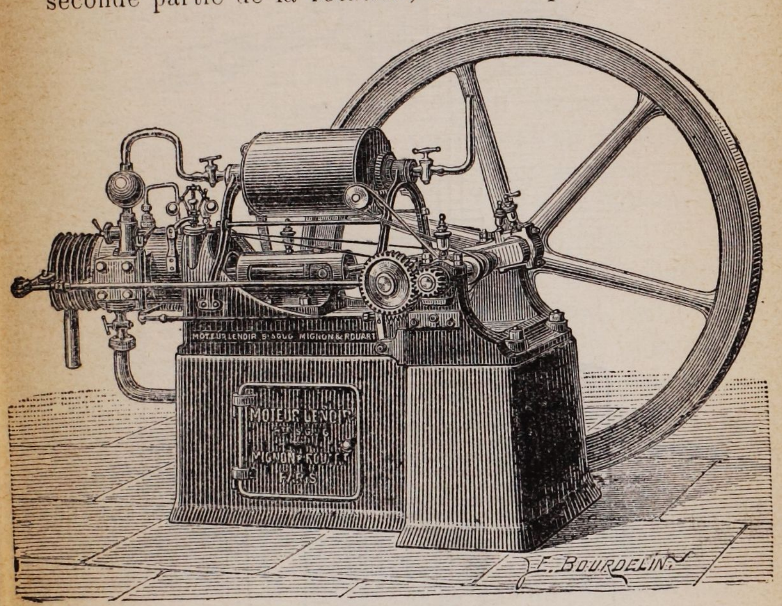


Fig. 95. — Moteur à pétrole Lenoir.

rateur est sans cesse traversé de haut en bas par une pluie fine de gazoline.

L'air entre par le tube C, qui est muni d'un robinet et d'une boîte de forme spéciale, pour arrêter les poussières ; il sort ensuite par B, après s'être saturé de vapeurs.

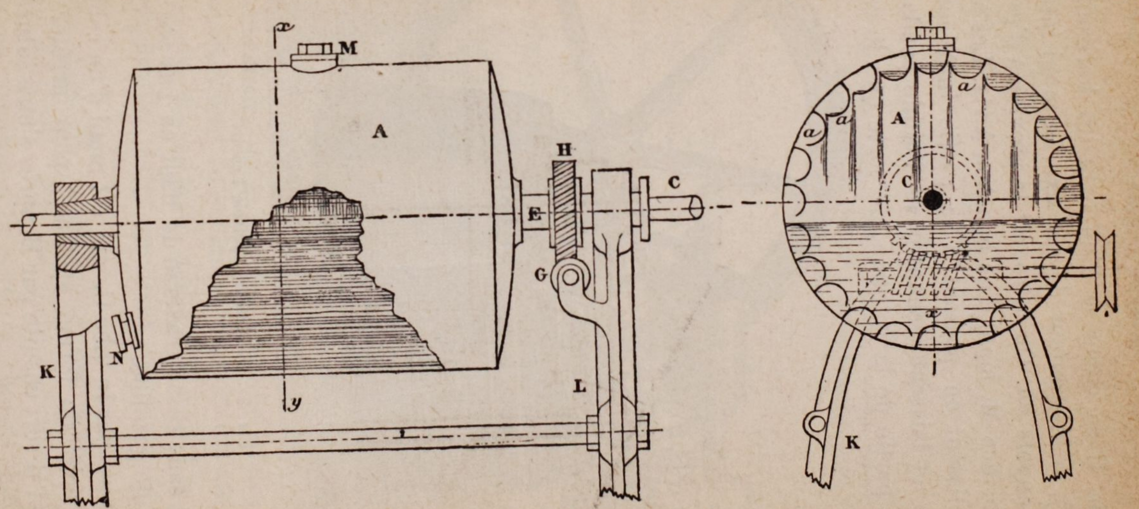


Fig. 96. — Moteur Lenoir : carburateur.

Un regard N permet d'observer le niveau du liquide dans le carburateur. Celui-ci tourne autour des tubes fixes BC, au moyen de deux tourillons DE, et fait 4 tours par minute. Il reçoit le mouvement par l'intermédiaire de la roue filetée H et de la vis sans fin G, qui est elle-même actionnée par l'arbre de couche, à l'aide de deux poulies et d'une cordelette. Le tout est supporté au-dessus du moteur par deux chaises en fonte KL, boulonnées au bâti.

Admission. — Au sortir du carburateur, le mélange tonnant traverse d'abord un cylindre vertical, renfermant des toiles métalliques, qui empêchent la flamme de se propager en arrière jusqu'à cet appareil, puis un robinet-soupape d'admission, et arrive à la boîte de distribution, boulonnée sur le côté du cylindre.

Cette boîte est divisée en deux chambres : la première reçoit l'air pur à travers un robinet spécial, qui permet d'en faire varier la proportion, et le mélange tonnant à travers une série de petits tubes inégaux, qui le diffusent dans la masse d'air. Au moment de l'admission, une soupape automatique se soulève et laisse pénétrer le mélange d'air et de gaz tonnant dans la seconde chambre, qui communique avec le cylindre et renferme la bougie d'allumage.

Le refroidissement est produit par un courant d'eau.

D'après les constructeurs, la consommation serait d'environ 400 grammes de gazoline de densité 0,650, par cheval-heure.

La forte compression (plus de 4 kilogrammes) et la brusque explosion donnent des secousses ; néanmoins le moteur Lenoir se distingue par sa simplicité, son économie et son entretien facile.

Moteur Durand.

Cet appareil est destiné à fonctionner à volonté au gaz ou au pétrole, sans aucun changement. Il est robuste, compact, marche régulièrement et sans surveillance, et n'exige pas trop de soins ni d'entretien.

Description. — Au-dessus du cylindre (fig. 97) se trouve le carburateur automatique, qui est traversé par une partie des gaz de la décharge, afin de récupérer une portion de la chaleur perdue. Ce carburateur renferme de l'essence minérale, de densité 0,700 environ, et un flotteur équilibré plongeant dans le liquide d'une quantité constante. L'air aspiré par le piston est obligé, pour se rendre dans le cylindre, de déboucher par un tube sous le flotteur et de traverser la couche de pétrole qui produit sa flottaison ; il se charge ainsi de vapeurs de pétrole.

Le gaz combustible s'échappe ensuite par la partie supérieure du carburateur et traverse la soupape d'admission verticale, placée en avant de la figure. L'air arrive à travers un tamiseur spécial, chauffé par les produits de la décharge. L'emploi d'air ainsi échauffé facilite l'inflammation du mélange et diminue la consommation. Le régulateur, à force centrifuge, règle l'arrivée du gaz combustible.

La soupape de décharge se trouve sur le fond du cylindre; elle est commandée par une came, ou par un excentrique qu'on voit sous la poulie motrice. Un bouton, que l'on aperçoit tout à fait à gauche, permet de roder fréquemment cette soupape sur son siège et d'éviter l'encrassement, qui rend si souvent la marche irrégulière.

Allumage. — L'allumage est électrique ; il est produit automatiquement par une petite machine magnéto-électrique, munie d'un dispositif spécial pour recueillir l'extra-courant de rupture. L'étincelle est fournie

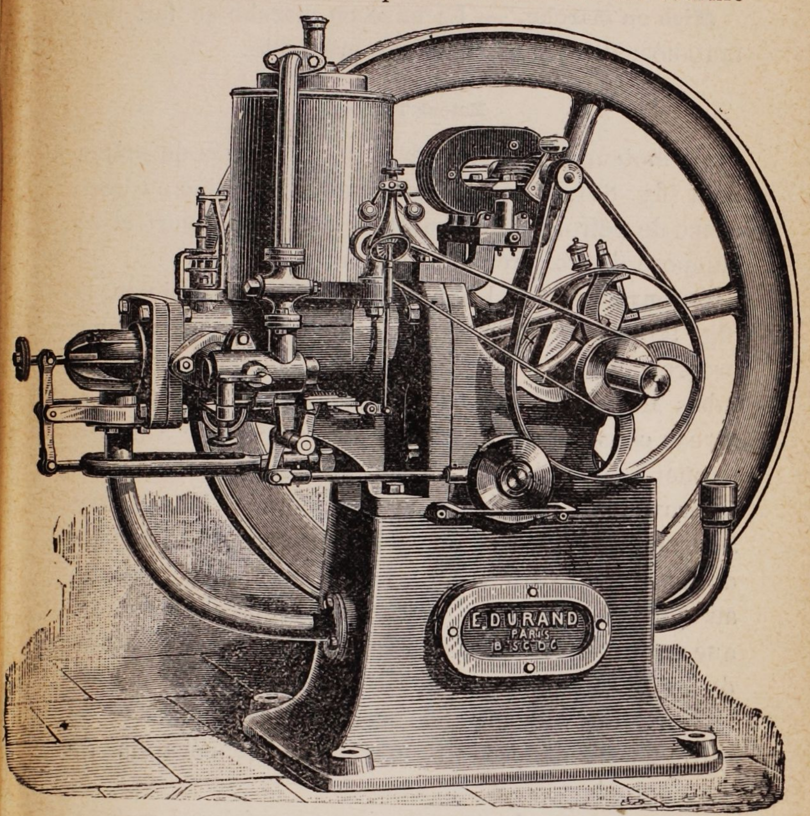


Fig. 97. — Moteur Durand.

par deux petits appareils qui prolongent en quelque sorte les fils jusqu'au milieu de la chambre de compression. Au moment opportun, ces deux appareils,

qui sont en contact l'un avec l'autre, s'écartent avec friction, en produisant une belle étincelle de rupture. La friction nettoie constamment les deux pôles et empêche tout encrassement.

Mise en marche. — La mise en marche se fait instantanément et sans chauffage préalable.

Moteur Tenting.

Ce moteur est identique au moteur à gaz de même nom (fig. 84); il est alimenté par la gazoline ou l'essence de pétrole; le carburateur est placé à part et se compose de trois récipients superposés.

Carburateur. — Le premier de ces récipients B (fig. 98) est un réservoir qui alimente le carburateur proprement dit C, placé au-dessous, au moyen de deux tubes MN et OP, dont le premier sert à maintenir le niveau constant en C ; un tube de verre placé à droite permet de contrôler ce niveau. Le réservoir B contient la provision nécessaire pour une journée. L'air arrive à la partie supérieure du carburateur, où il se charge de vapeurs d'hydrocarbure. Le mélange se rend ensuite au cylindre par FE. D est une boîte d'échappement, que traversent les produits de la combustion, expulsés du cylindre par la soupape H, pour se rendre à l'extérieur. Le voisinage de cette boîte compense le refroidissement produit en C par l'évaporation de l'hydrocarbure.

Allumage. — L'allumage peut se faire à volonté par étincelle ou par tube incandescent. Dans le premier cas, le dispositif est identique à celui du moteur à gaz, comme le montre la figure 98.

Mise en train. — Le cylindre est refroidi par un

système d'ailettes qui permet de se dispenser d'un courant d'eau jusqu'à 4 chevaux. Pour mettre en marche,

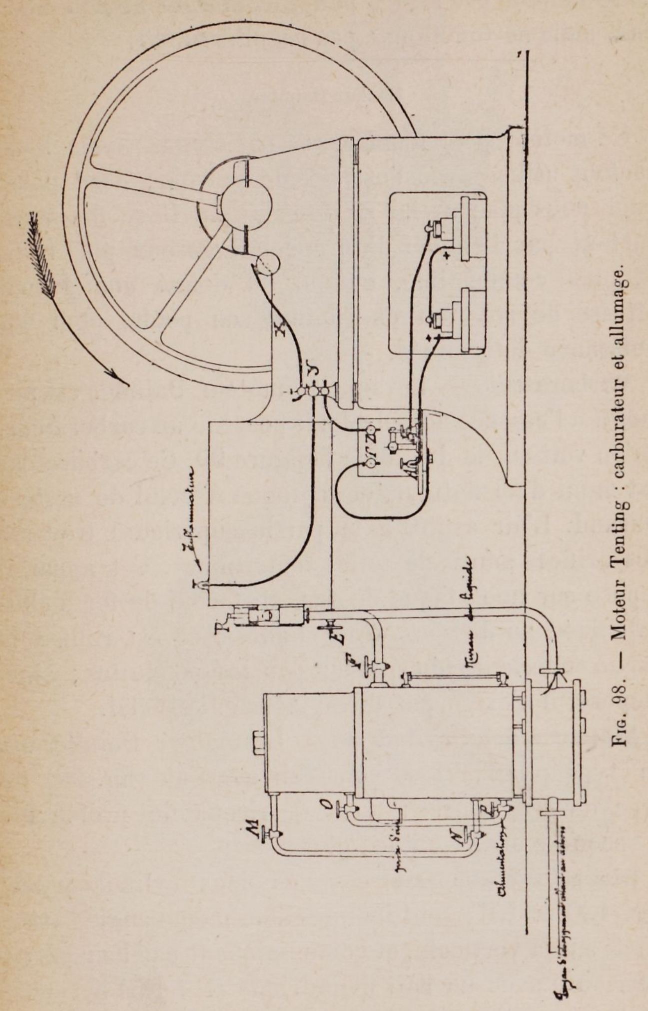


Fig. 98. — Moteur Tenting : carburateur et allumage.

on ouvre les robinets MNOPF du carburateur ; on règle

l'entrée de l'air carburé à l'aide du robinet E et l'arrivée d'air par le registre R, spécial au moteur à pétrole.

Ce moteur est léger, peu encombrant et bon marché, mais ne fonctionne pas régulièrement.

Moteur Daimler.

Ce moteur peut fonctionner par le gaz ; mais il est surtout utilisé avec l'essence de pétrole ; c'est pourquoi nous plaçons ici sa description. Il se distingue surtout par l'emploi d'un mélange gazeux plus riche et plus combustible, ce qui lui donne une grande vitesse de rotation et diminue son poids, pour une puissance déterminée.

Carburateur. — Lorsque le moteur Daimler est alimenté à l'essence de pétrole, il possède un carburateur, qu'on voit sur la droite de la figure 99. Ce carburateur est muni d'un flotteur, et analogue à celui du moteur Durand. L'air aspiré à la partie supérieure traverse des orifices munis de toiles métalliques. Cet appareil repose sur une plaque de fer, en forme de fer à cheval, fixée au-dessous des cylindres, et est relié à la partie supérieure du moteur par les conduites ; ainsi disposé, il n'exige pas d'emplacement spécial.

Moteur à deux cylindres. — Le moteur Daimler est du type pilon ; il se construit avec un (fig. 99) ou avec deux cylindres ; nous décrirons de préférence le second modèle, qui est plus récent.

Disposition générale. — Les deux cylindres AA′ (fig. 100 et 101) sont inclinés d'un même angle, assez petit, sur la verticale, et communiquent par leur partie inférieure avec un bâti cylindrique B, fermé hermétiquement par deux fonds munis de presse-étoupes pour

laisser passer l'arbre de couche C, auquel ils servent

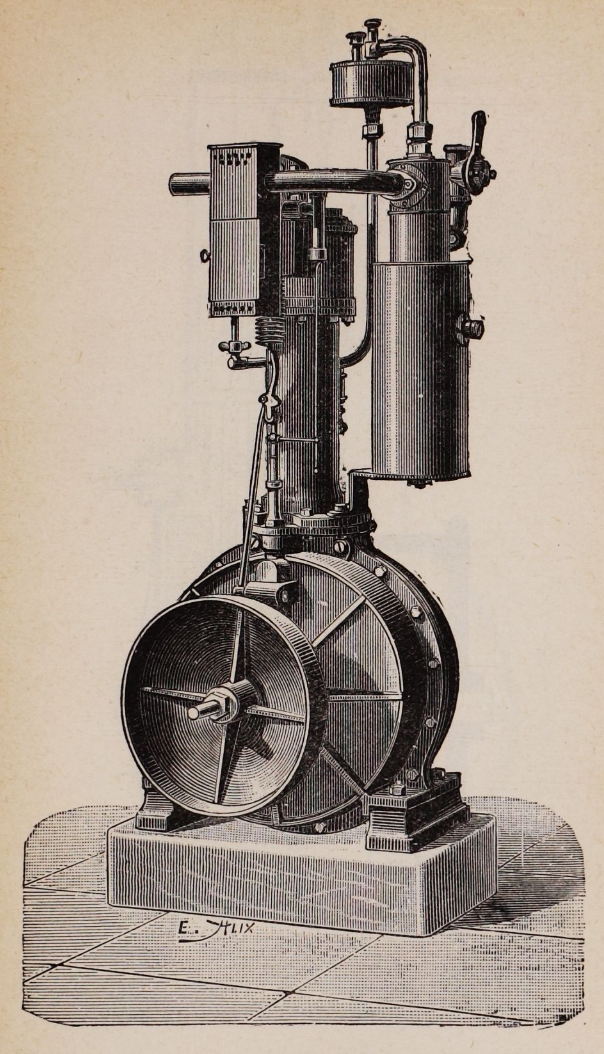


Fig. 99. — Moteur Daimler.

de paliers. Sur les pistons FF′ sont articulées deux

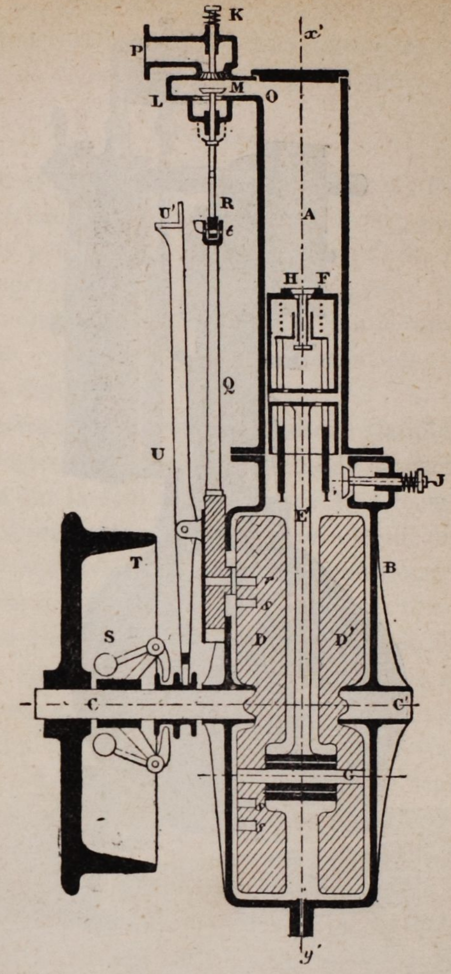


Fig. 100. — Moteur Daimler : élévation et coupe $x'y'$.

bielles EE′, qui actionnent deux plateaux-manivelles

DD′, calés sur l'arbre C, et ne laissant entre eux et les

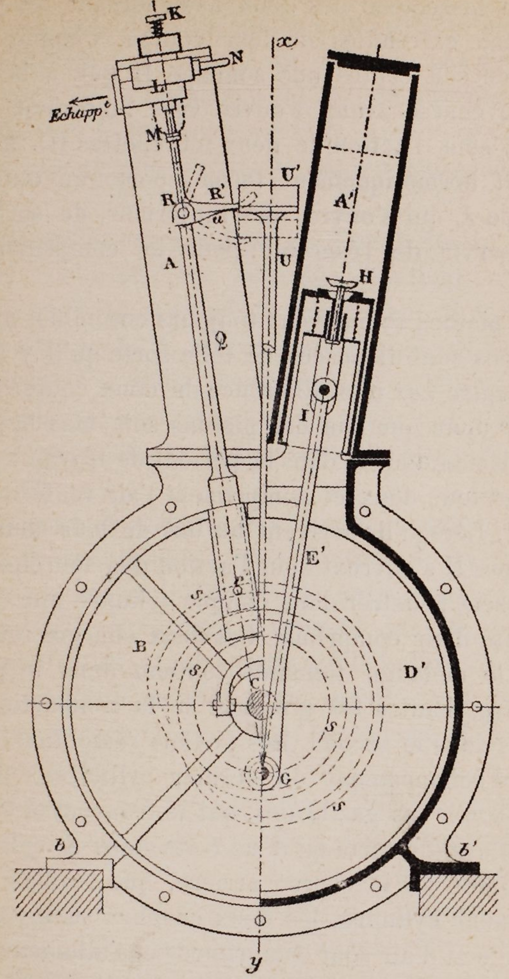


Fig. 101. — Moteur Daimler : coupe xy.

parois qu'un très faible espace. Les bielles s'attachent

aux plateaux en un même point G, qui se trouve dans le plan bissecteur des deux axes lorsque les pistons sont aux extrémités de leur course. Chaque piston porte en son centre une soupape H qui, à la fin de chaque course avant, s'ouvre vers l'intérieur du cylindre, sous l'action de deux fourchettes II'. Le bâti, qui est hermétiquement fermé, porte en outre une soupape J, qui s'ouvre vers l'intérieur, de sorte qu'il peut servir de réservoir pour la compression de l'air.

Les pistons se meuvent toujours ensemble, mais les soupapes sont disposées de telle sorte qu'il y ait toujours entre eux une différence de deux courses. Supposons donc que l'un des pistons soit dans la période d'admission, l'autre dans la période de travail : ils descendent tous deux et compriment l'air renfermé dans le bâti. Lorsqu'ils arrivent au bas de leur course, les soupapes H s'ouvrent sous l'action des fourchettes II' et laissent pénétrer dans chaque cylindre une certaine quantité d'air comprimé. Ces deux charges refoulent, l'une le mélange tonnant contenu dans le premier cylindre, l'autre les produits de la combustion renfermés dans le second. Les pistons remontant, la soupape d'échappement du dernier cylindre s'ouvre et laisse sortir les gaz brûlés, qui se trouvent à la partie supérieure, de sorte qu'il ne reste dans ce cylindre, à l'extrémité de la course arrière, que l'air pur. Dans le premier cylindre, les deux couches superposées de mélange et d'air sont comprimées et s'allument à la fin de la course, ce qui repousse les deux pistons vers le bas. En outre, pendant la course arrière, un vide partiel s'est produit dans le bâti et la soupape J s'est

ouverte, laissant rentrer l'air extérieur. Les mêmes opérations se reproduisent ensuite.

On voit que, dans ce moteur, l'expulsion complète des gaz brûlés rend le mélange plus pur, et l'air introduit à la fin de l'admission augmente la pression ; c'est ce qui permet d'obtenir une grande vitesse, et par conséquent une grande puissance sans accroissement de masse.

Admission et échappement. — Une boîte L, placée au haut de chaque corps de pompe, contient l'appareil d'allumage N, la soupape d'échappement M et la soupape d'admission K. Cette dernière est automatique et se trouve à la partie supérieure de la boîte ; elle se soulève au commencement de la période d'admission et laisse entrer le gaz et l'air dans le cylindre par le conduit O.

La soupape M s'ouvre, dès le commencement de la période d'échappement, sous l'action de la tige Q, portant à sa partie inférieure un petit galet *r*, qui se déplace dans une rainure *s*, creusée dans un des plateaux-manivelles, et faisant deux fois le tour de l'arbre moteur avant de revenir à son point de départ, de façon que la tige Q n'actionne la soupape M que tous les deux tours.

Allumage. — L'allumage est produit par un tube N, fixé sur la boîte L et chauffé à l'extérieur par une petite lampe à gazoline ; cette lampe se compose d'un tube qui part du fond du réservoir d'alimentation du carburateur, situé plus haut que le tube. Ce canal contient à l'intérieur une mèche de cuivre et se termine par une petite ouverture. Au moment de la mise en train, on allume de l'alcool placé dans des coupes

autour des deux lampes ; l'appareil s'échauffant, la gazoline contenue dans les porte-mèche se volatilise et on obtient ainsi de véritables becs de gaz.

L'ensemble peut être placé dans une boîte qui protège la flamme et diminue les dangers d'incendie.

Régulateur. — Le régulateur à boules S, placé sur l'arbre de couche entre le bâti B et la poulie motrice, agit sur la soupape d'échappement et empêche l'admission. Pour cela, il entraîne un levier U terminé par un taquet U′ et le ramène près des cylindres quand la vitesse devient trop grande. D'un autre côté, la tige Q se termine par un levier coudé RR′, mobile autour du point *t*, dont une des branches R est ordinairement maintenue dans le prolongement de Q par un ressort *u*. Lorsque le levier U a pris la position que nous venons d'indiquer, le taquet U′ rencontre la branche R′, au moment où la tige Q se soulève pour ouvrir la soupape M ; le levier RR′ tourne autour du point *t* et n'ouvre pas la soupape ; les gaz brûlés restent donc dans le cylindre et leur pression empêche l'ouverture de la soupape d'admission K.

Mise en marche. — L'appareil étant renfermé dans un bâti, on produit la rotation de l'arbre de couche, au moment de la mise en marche, au moyen d'une manivelle placée à l'extrémité C′ de l'arbre, et qui se désembraye automatiquement lorsque la machine est lancée.

La culasse seule est refroidie par un courant d'eau.

Consommation et avantages. — D'après les constructeurs, la consommation serait inférieure à 500 gr. par cheval-heure.

La vitesse varie de 425 à 700 tours, suivant la

puissance. La marche est assez régulière, surtout dans les moteurs à deux cylindres. Les appareils à un seul cylindre sont plus lourds et plus volumineux. La petite dimension des organes rend la construction un peu délicate et exige un entretien et une surveillance rigoureux, surtout pour les soupapes, en même temps que la grande vitesse rend la marche un peu bruyante.

D'un autre côté, ce moteur est simple, léger, peu coûteux ; il n'exige qu'un faible emplacement et se prête à de nombreuses applications.

Lorsqu'il doit fonctionner au gaz, le carburateur est remplacé par un robinet régulateur spécial.

Moteurs Otto.

Les ateliers Otto construisent des moteurs à essence de pétrole et aussi à pétrole lourd.

Moteur à essence de pétrole. — Dans cet appareil, le tiroir est supprimé et remplacé par une soupape. Le régulateur commande l'admission de l'air carburé, comme dans les modèles à gaz ; un robinet spécial gouverne l'admission de l'air.

Allumage. — L'allumage est électrique : le courant est produit par une bobine, tournant entre les pôles d'un aimant permanent, ou, dans les derniers modèles, d'un électro-aimant : au moment voulu, le circuit est rompu entre une pointe fixe et un marteau mobile, et l'extra-courant de rupture donne une étincelle entre deux pointes situées dans la chambre de compression.

Consommation. — Le type de 4 chevaux consomme environ par cheval-heure 400 gr. ou 60 centilitres de gazoline, de densité 0,650.

Moteur à pétrole lourd. — Depuis sa création, en

1890, ce modèle a subi plusieurs modifications : nous décrivons sa dernière forme.

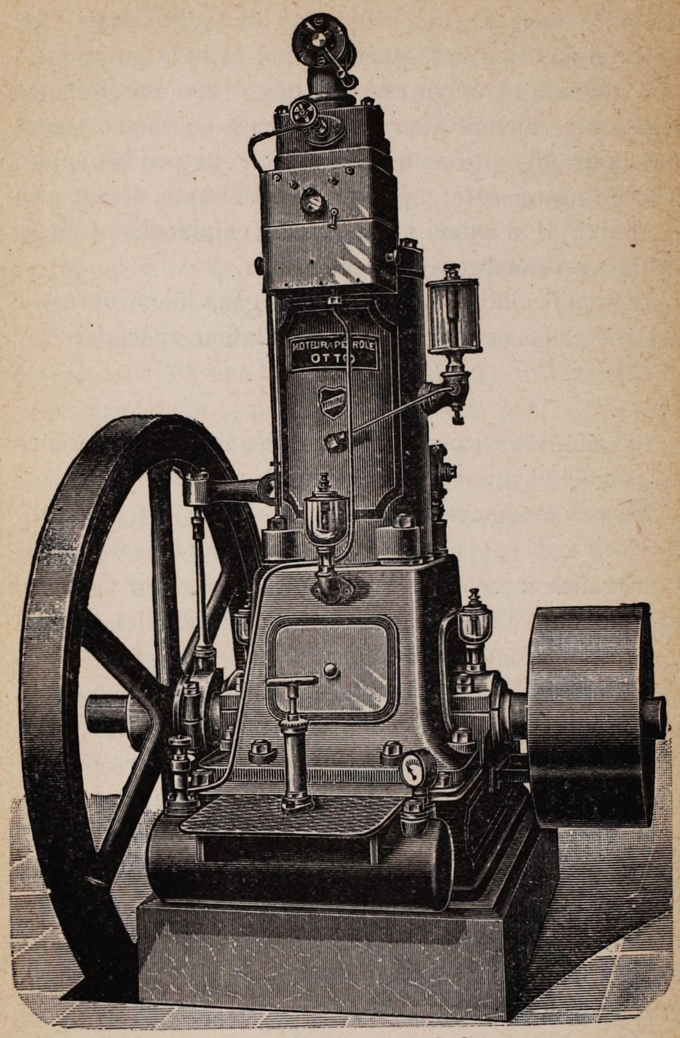


Fig. 102. — Moteur à pétrole Otto.

Pulvérisateur. — Le pétrole est placé dans un réservoir élevé, d'où il passe dans un déverseur à niveau constant et de là dans le vaporisateur. Cet organe (fig. 103) reçoit l'hydrocarbure par un conduit latéral et le déverse par la soupape à rainures S, qui est actionnée par une came et un levier ; l'air arrive des deux côtés avec une grande vitesse, de manière à saisir et à pulvériser l'hydrocarbure, qui dégoutte de la soupape.

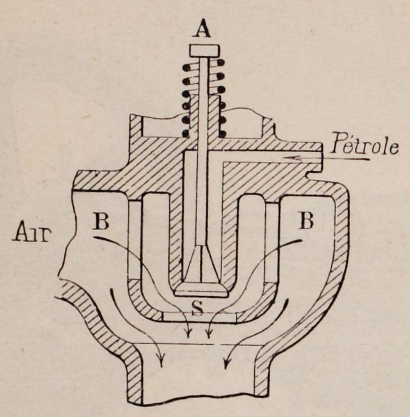


FIG. 103. — Moteur Otto : pulvérisateur.

Le mélange est amené au cylindre par un canal non refroidi, qui s'échauffe assez pour achever la volatilisation ; ce canal débouche au droit d'une prise d'air complémentaire.

Réglage. — Une vis de réglage modère le débit du pétrole suivant les besoins ; en outre, le régulateur agit sur une soupape disposée sur le canal amenant le liquide. Quand la vitesse est trop grande, l'air et l'huile cessent d'être admis et l'échappement reste ouvert.

Allumage. — La lampe des tubes d'allumage est alimentée par un petit réservoir spécial, dans lequel on comprime légèrement l'air au moyen d'une pompe à main ; elle consomme environ 82 gr. ou 10 centilitres par heure.

Moteur Priestman.

Ce moteur est le premier qui ait utilisé l'huile de pétrole.

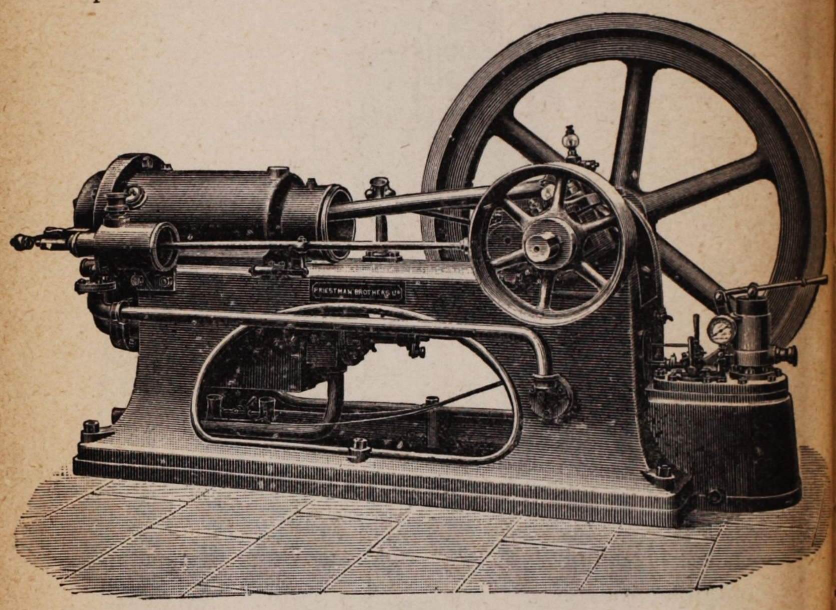


Fig. 104. — Moteur à pétrole Priestman.

Parallèlement au cylindre moteur, et en avant de la figure 104, se voit une pompe qui comprime l'air dans le réservoir à pétrole placé à droite de l'appareil ; cette pompe est commandée par un excentrique, calé

sur un arbre qui fait un seul tour pour deux tours du moteur. La pression de l'air fait monter le liquide dans

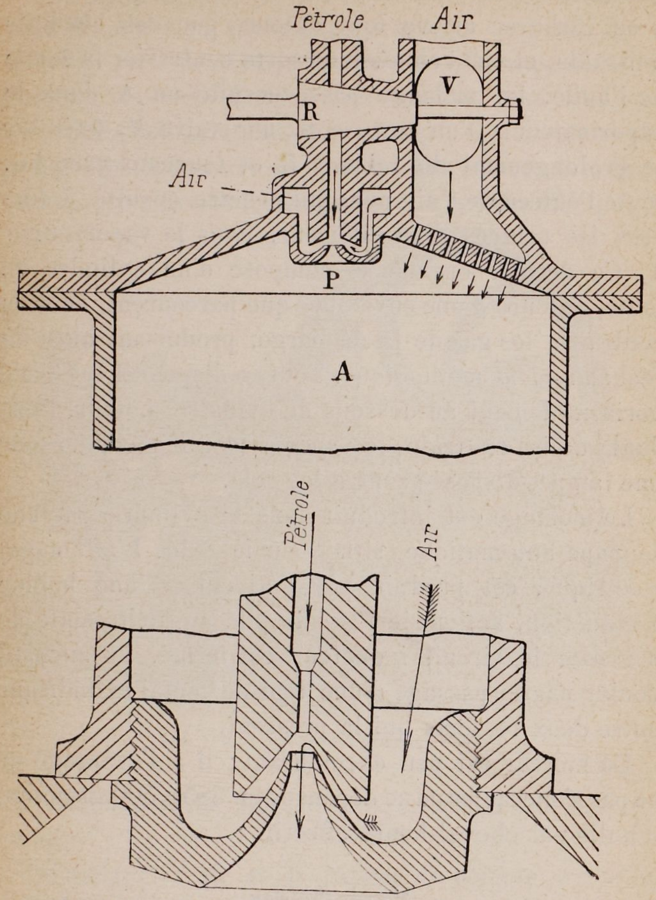


Fig. 105. — Moteur Priestman : détail du pulvérisateur.

le pulvérisateur, placé au-dessous du cylindre et représenté en détail figure 105.

Dans cet appareil, le pétrole pénètre suivant l'axe, par un canal étroit, muni d'un robinet R, à orifice triangulaire, commandé par le régulateur ; l'air destiné à se carburer arrive tout autour, par des conduits rentrants, et vient en quelque sorte contrarier la sortie de l'huile. Le mélange passe ensuite en A dans le vaporisateur . D'un autre côté, une valve V, fixée sur le prolongement du robinet R et tournant avec lui, règle l'entrée de l'air pur, qui pénètre ensuite, à travers les orifices d'un diffuseur, dans le vaporisateur A. Ce dernier organe se compose d'un cylindre en fonte, entouré d'une enveloppe que parcourent, en sens contraire, les gaz de la décharge, produisant ainsi un réchauffement méthodique. Tout ce dispositif est placé horizontalement au-dessous du cylindre moteur. Pendant la mise en train, le vaporisateur est chauffé par une lampe, disposée contre le socle.

Le mélange est introduit dans le cylindre par une soupape automatique, située sur le fond. L'allumage, électrique, est produit par l'étincelle d'une bobine d'induction, actionnée par une pile au bichromate de potasse : le circuit inducteur est fermé, au moment voulu, par le passage d'une tige de métal cylindrique entre deux ressorts qui la pressent.

Ce moteur est peu encombrant ; il a l'avantage de ne pas s'encrasser et ne dépense que 385 à 500 grammes d'huile par cheval-heure effectif.

Moteur Crossley.

Dans ce moteur, la disposition des organes est semblable à celle que nous avons indiquée pour le moteur à gaz du même nom.

Il suffit donc de décrire le vaporisateur, qui est placé à l'arrière du cylindre (fig. 106).

Ce vaporisattur se compose d'une chambre divisée par des cloisons verticales en quatre canaux ; il est chauffé par une lampe placée au-dessous, dont la flamme traverse d'abord ces canaux, puis s'engage dans une cheminée placée au-dessus. L'air, poussé par une pompe, parcourt de haut en bas un conduit héliçoïdal, qui entoure la cheminée, et s'y échauffe ; puis il

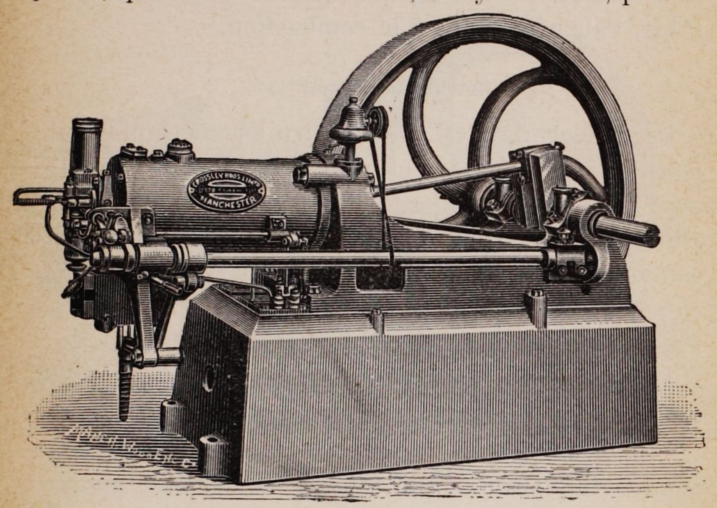


Fig. 106. — Moteur à pétrole Crossley.

entraîne le pétrole, amené au vaporisateur par un autre canal.

Le mélange d'air et de vapeur de pétrole arrive au cylindre moteur par une soupape, qui reçoit son mouvement de l'arbre de distribution, faisant un seul tour pour deux du moteur. L'air arrive directement dans le cylindre.

Le mécanisme qui ouvre cette soupape commande en même temps la pompe à air, qui est à simple effet et envoie l'air dans un réservoir dont une des parois est flexible, ce qui régularise l'écoulement du gaz.

Une autre pompe envoie le pétrole au vaporisateur et à la lampe ; son piston est soulevé par le mécanisme de distribution et retombe sous l'action d'un ressort. La lampe est dépourvue de mèche ; elle reçoit directement de l'atmosphère, par des ouvertures latérales, l'air nécessaire à la combustion.

Moteur Hornsby-Akroyd.

Ce moteur (fig. 107) est construit pour employer le pétrole lourd ordinaire et peut cependant être utilisé avec le pétrole d'éclairage ; les organes y sont réduits au minimum, car il n'y a ni inflammateur, ni pulvérisateur ou vaporisateur, ni par conséquent de lampe de chauffage, au moins après la mise en marche ; tout se fait dans la chambre de compression.

Cette chambre V (fig. 108) est placée à l'arrière du cylindre A et communique avec lui par un canal étranglé ; elle est munie de nervures intérieures qui augmentent la surface de contact avec le mélange gazeux, et, comme elle n'est pas refroidie à l'extérieur, elle atteint rapidement une température élevée. Le pétrole, logé dans le socle, traverse un robinet à trois voies *e*, muni d'un filtre à l'intérieur ; il est aspiré par la pompe Q et envoyé par les tuyaux *fg* à la chambre V, où il se vaporise aussitôt, au contact des parois très chaudes ; il se mélange en même temps avec l'air, qui y est amené par l'aspiration du piston.

Pendant la seconde course du piston, le mélange est

soumis à une compression assez forte pour provoquer son explosion spontanée ; l'étranglement du canal de communication suffit d'ailleurs pour éviter les allumages prématurés. Il faut cependant chauffer la chambre V pendant la mise en train, jusqu'à ce qu'elle ait pris la température nécessaire ; ce résultat s'obtient en quatre ou cinq minutes, au moyen d'une forte lampe T, qui est alimentée de pétrole par la pompe U et d'air comprimé par un ventilateur à main R, qu'on actionne

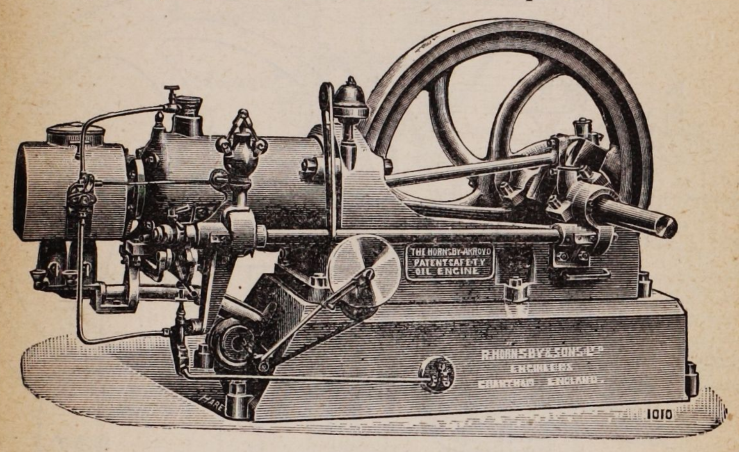


Fig. 107. — Moteur à pétrole Hornsby-Akroyd.

au moyen de la poulie et de l'engrenage S ; cette lampe constitue ainsi un chalumeau des plus énergiques.

Le régulateur J, à force centrifuge, entraîné par l'engrenage conique K, agit sur la soupape d'introduction d'huile ; lorsque celle-ci reste fermée, le liquide aspiré par la pompe Q retourne directement au réservoir par *h*.

La pompe à pétrole Q est actionnée par l'arbre H, qui reçoit le mouvement de l'arbre de couche par l'in-

termédiaire de l'engrenage I et fait un tour pour deux tours du volant.

Ce moteur possède une marche régulière et économique ; il consomme moins d'un demi-litre d'huile de densité 0,850 par cheval-heure effectif. Sa construction simple rend la surveillance facile, de sorte qu'il semble convenir particulièrement aux installations agricoles. L'absence de tout appareil d'allumage extérieur diminue les risques d'incendie et par suite la prime exigée par les Compagnies d'assurances.

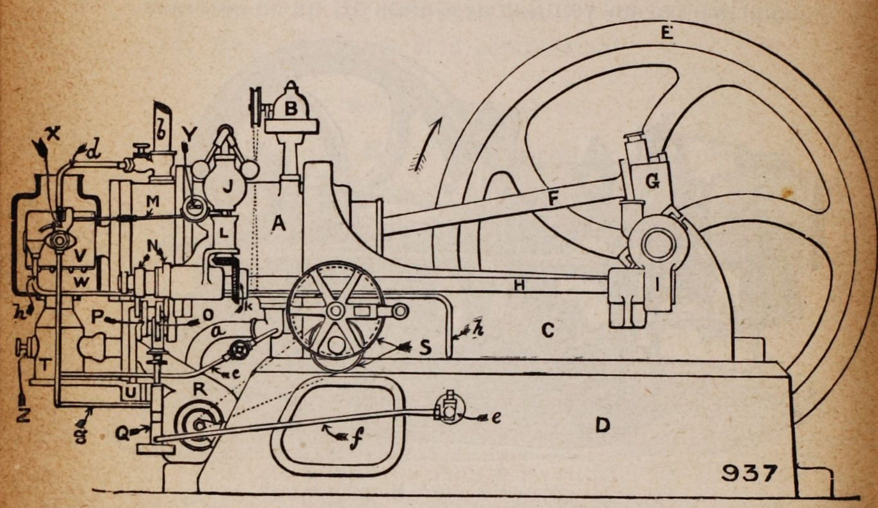


Fig. 108. — Mécanisme du moteur Hornsby-Akroyd.

Moteur Grob.

Ce moteur est du type pilon, comme le moteur à gaz du même système : il marche à quatre temps et emploie l'huile de pétrole (fig. 109 et 110).

En descendant, le piston (fig. 109) aspire, par une

soupape automatique placée au haut du cylindre, une certaine quantité d'air dont la presque totalité traverse

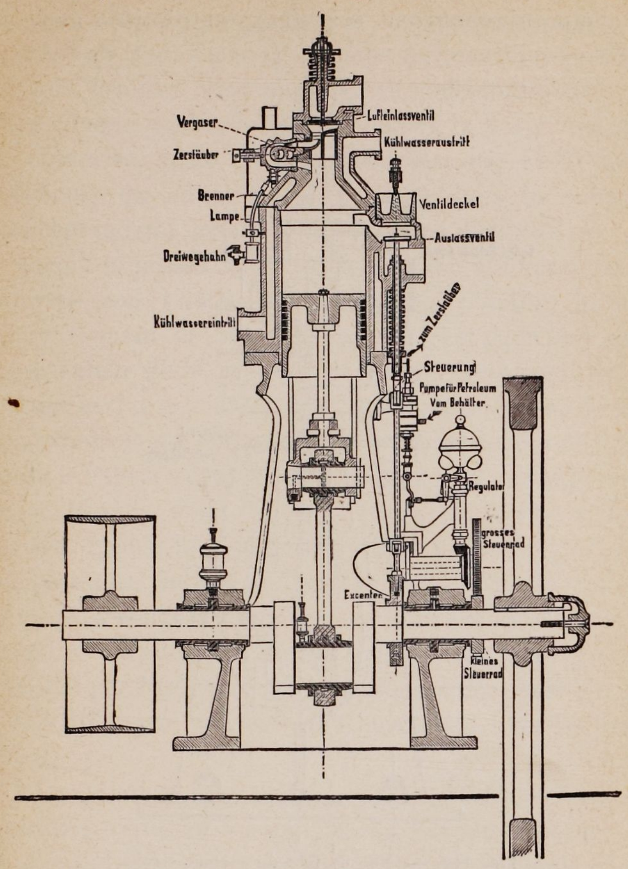


Fig. 109. — Coupe du moteur Grob.

Vergaser, *gazéificateur.* — Zerstäuber, *pulvérisateur.* — Brenner, *brûleur.* — Lumpe, *chiffons.* — Dreiwegebahn, *robinet à trois orifices.* — Kühlwassereintritt, *entrée de l'eau froide.* — Lufteinlassventil, *soupape d'admission de l'air.* — Kuhlwasseraustritt, *sortie de l'eau froide.* — Ventildeckel, *chapeau de la soupape.* — Auslassventil, *soupape d'échappement.* — Zum Zerslaüber, *vers le pulvérisateur.* — Steuerung, *régulateur de distribution.* — Pumpe für Petroleum vom Behälter, *pompe pour pétrole, du réservoir.* — Regulator, *régulateur.* — Grosses Steuerrad, *grande roue régulatrice.* — Excenter, *excentriques.* — Kleines Sleuerrad, *petite roue régulatrice.*

le gazéificateur ou pulvérisateur qu'on voit à gauche et s'y carbure. Ce vaporisateur se compose d'un canal en U communiquant par ses deux extrémités avec le

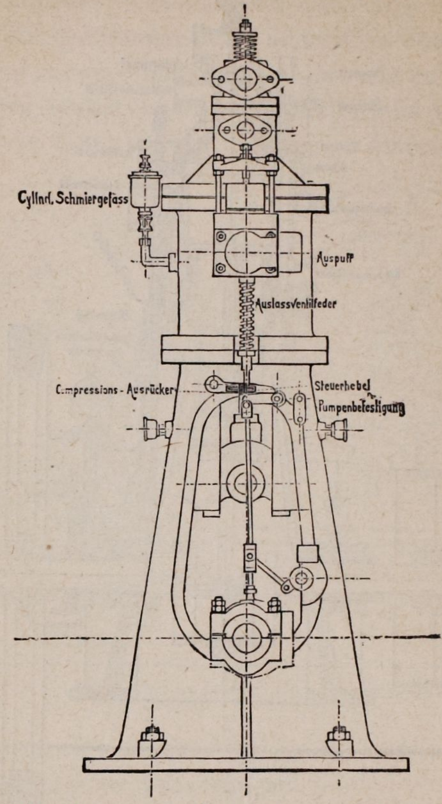


Fig. 110. — Vue de face du moteur Grob.

Cylind. Smiergefass, *graisseur du cylindre.*— Compressions-Ausrücker, *arrêt de compression.* — Auspuhl., *purgeur.* — Auslassventilfeder, *ressort de la soupape d'échappement.* — Steuerhebel, *levier du régulateur.* — Pumpenbefesligung, *joint de la pompe.*

cylindre, et placé dans une pièce faisant saillie hors de l'appareil, de sorte qu'elle peut être chauffée par

une sorte d'éolipyle. Le pétrole est déversé par un tube étroit à la partie supérieure du canal et rencontre la paroi chaude, ce qui tend à le vaporiser ; mais, en outre, l'air aspiré par la soupape automatique pénètre dans le cylindre avec une vitesse suffisante pour projeter chaque goutte de liquide contre la paroi, où elle se pulvérise. L'air ainsi carburé sort par l'extrémité inférieure du canal en U et passe dans la coupole tronconique qui constitue la chambre d'explosion.

Quand le piston remonte, la soupape automatique se referme sous l'action d'un ressort à boudin ; le mélange tonnant se trouve comprimé et, pour une certaine valeur de la pression et une certaine position du piston, arrive au contact du métal incandescent du vaporisateur et s'y enflamme. Ce vaporisateur joue donc aussi le rôle d'allumeur. L'explosion agit sur le piston, qui se trouve alors au point mort, et le fait redescendre. Enfin, le piston remontant une seconde fois, les produits de la combustion sont chassés par la soupape d'échappement, qui se trouve à la base de la chambre d'explosion. Cette soupape est mue par un excentrique calé sur l'arbre moteur, mais, grâce à un dispositif ingénieux, elle ne s'ouvre que tous les deux tours.

Le régulateur agit sur la soupape d'admission et la maintient ouverte lorsque la vitesse du moteur est trop grande : dans ce cas, la soupape automatique d'admission ne fonctionne plus, et le moteur ne reçoit plus de mélange tonnant.

Le pétrole est amené au vaporisateur par une pompe, qu'on voit à droite de la coupe ; on règle le débit en faisant varier la longueur de la tige du piston au

moyen d'un écrou ; la pression de refoulement se gouverne par un ressort ; quand la vitesse est trop grande, l'excentrique cesse d'actionner la pompe.

Pour la mise en train, on chauffe d'abord le vaporisateur, on manœuvre la pompe à la main jusqu'à

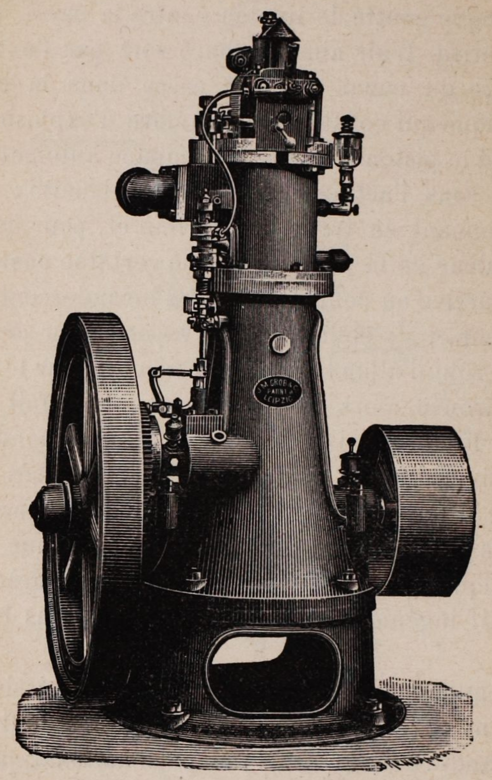


Fig. 111. — Moteur à pétrole Grob.

ce que le liquide arrive à cet organe, puis on tourne le volant.

Le cylindre peut être refroidi, soit par un courant

d'eau, soit par un appareil automatique à ventilation breveté. Il faut avoir soin que la pompe ne débite pas un excès d'huile, qui encrasserait rapidement le moteur.

Le moteur Grob marche avec une forte compression et une grande vitesse (400 tours pour les petites forces) ; il consomme 50 centilitres de pétrole par cheval-heure effectif. Il a été appliqué à des bateaux, des locomobiles, etc. La figure 111 représente un modèle récent.

Moteur Niel.

Le moteur Niel emploie l'huile de pétrole ; il ne fait que 160 à 200 tours par minute, ce qui est favorable à sa durée ; la compression y est faible : elle n'atteint pas 2 kilogrammes.

Moteur horizontal. — Cet appareil (fig. 112) reproduit un certain nombre des dispositions du moteur à gaz du même inventeur. La partie nouvelle est constituée par le vaporisateur, dont la figure 113 montre les détails. C'est une petite chaudière en fonte A, munie d'ailettes intérieures, qui augmentent la surface de vaporisation. Le pétrole, placé dans un réservoir surélevé d'environ 2 mètres, arrive avec une pression suffisante par le tube G et le robinet de réglage H ; il tombe en gouttes sur la trémie D, qui le divise uniformément sur les ailettes du vaporisateur A. L'air, aspiré par la soupape automatique C, pénètre également dans le vaporisateur et s'y mélange avec les vapeurs de pétrole ; le mélange se rend ensuite à la boîte de distribution R.

Le vaporisateur est chauffé par la lampe K, qui sert

en outre à maintenir incandescent le tube d'allumage T, et qui reçoit l'huile nécessaire par le robinet H, le tube I et le second robinet de réglage J.

Mise en train. — Pour mettre l'appareil en marche, on ouvre le robinet du réservoir, les robinets de réglage H et J étant fermés ; on remplit la petite coupe M d'esprit de bois, qu'on allume, de façon à chauffer le vaporisateur A et le tube L, en forme de U renversé, de la lampe K, qui se termine par un bec muni d'un

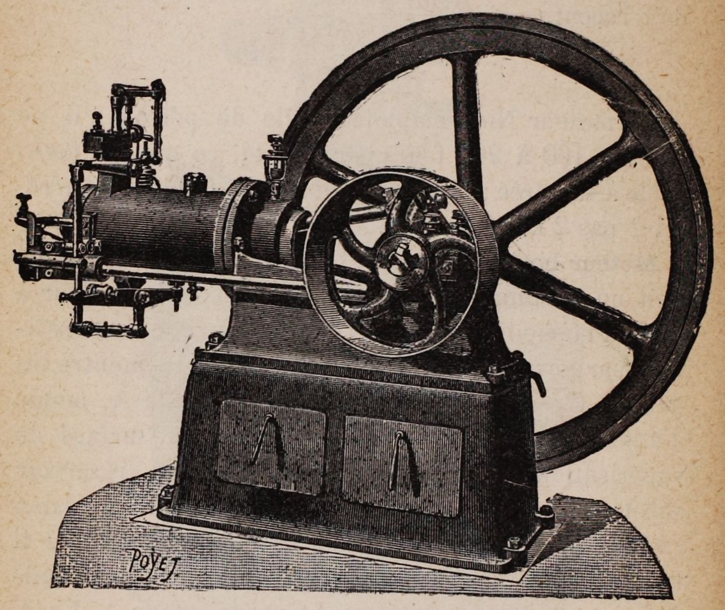


Fig. 112. — Moteur à pétrole Niel horizontal.

petit trou. Après cinq ou six minutes, l'alcool étant encore allumé, on ouvre les robinets H et J ; le pétrole passe dans le tube en U, qui est porté à une haute température, et sort en vapeurs, qui s'allument. On a

ainsi une sorte d'éolipyle, dont la flamme vient se briser contre la tige O, ce qui facilite son mélange avec l'air et élève sa température. Le tube T est ainsi porté facilement au rouge cerise ; le vaporisateur A est maintenu à une température suffisamment élevée par les gaz chauds qui traversent son enveloppe et s'échappent par les orifices P. La mise en train n'exige pas plus de 6 à 8 minutes.

La vis V permet de déplacer le support S de la

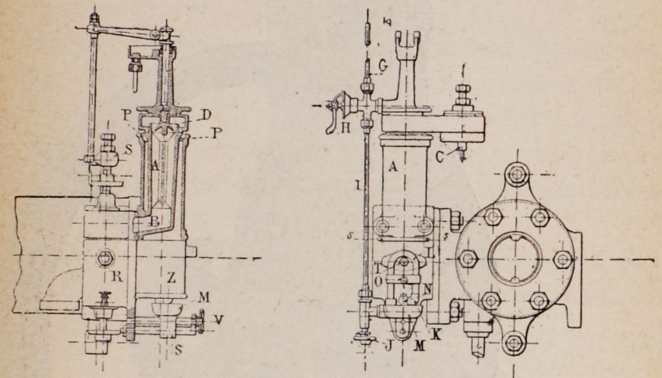


Fig. 113. — Moteur Niel : vaporisateur.

lampe, de façon à chauffer le tube T exactement au point voulu. Z est une chemise demi-cylindrique, mobile, garnie d'amiante à l'intérieur, qui protège la lampe contre les courants d'air et qui se suspend à la chaudière par les saillies *s*.

Allumage. — L'allumage est produit par le tube incandescent T, dont la longueur est calculée pour que le mélange tonnant arrive au contact de la partie du tube chauffée au rouge et fasse explosion exactement à la fin de la seconde course du piston.

Réglage. — Le réglage est produit par le régulateur

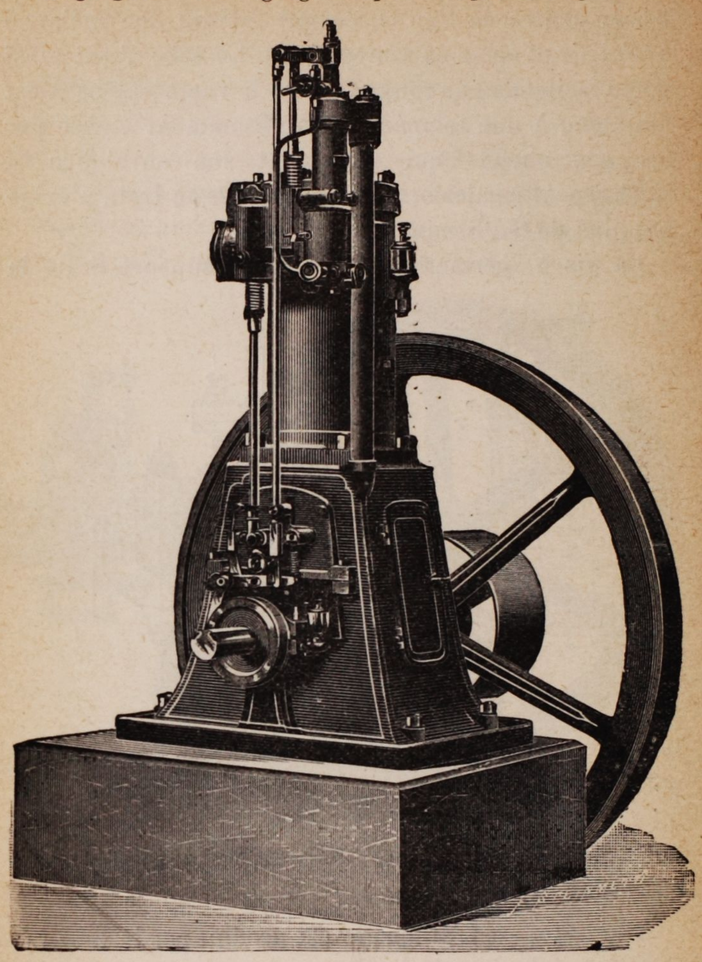


Fig. 114. — Moteur Atlas.

Niel, à lame flexible, que nous avons décrit plus haut (page 261), mais qui est ici légèrement modifié ; ce ré-

gulateur agit à la fois, lorsque la vitesse devient trop grande, sur la soupape d'échappement, qu'il maintient ouverte, et sur celle d'admission qui, dans ce cas, cesse de s'ouvrir, de sorte que l'huile n'arrive plus au vaporisateur. L'appareil est refroidi par un courant d'eau.

Consommation. — La consommation varie de 400 à 500 grammes par cheval-heure effectif, suivant la puissance ; ce nombre comprend la quantité de liquide brûlée par la lampe, qui est de 100 à 120 grammes par heure, quelle que soit la puissance.

Moteur vertical. — Le type vertical (fig. 114), connu sous le nom de moteur Atlas, reproduit les principales dispositions du modèle précédent. L'arbre de distribution tourne deux fois moins vite que le volant. Le régulateur, à boules, est à axe horizontal, et monté sur l'arbre de couche lui-même.

La consommation est de 550 à 650 grammes par cheval-heure effectif. Le moteur Atlas se construit de 1 à 7 chevaux.

Moteur Kœrting-Lieckfeld.

Ce moteur ne diffère du modèle à gaz que par la soupape d'admission du pétrole et par l'allumage ; il est alimenté à l'huile de pétrole (fig. 115).

Vaporisateur. — Le liquide est placé dans un réservoir surélevé de 2 mètres au moins : il arrive par un tuyau entre deux disques surmontés d'une soupape et comprenant un intervalle inférieur à un demi-millimètre. Le courant d'air traverse cet espace et pulvérise l'hydrocarbure. Ce mélange se rend ensuite au cylindre en traversant une chambre de chauffe placée au-dessus

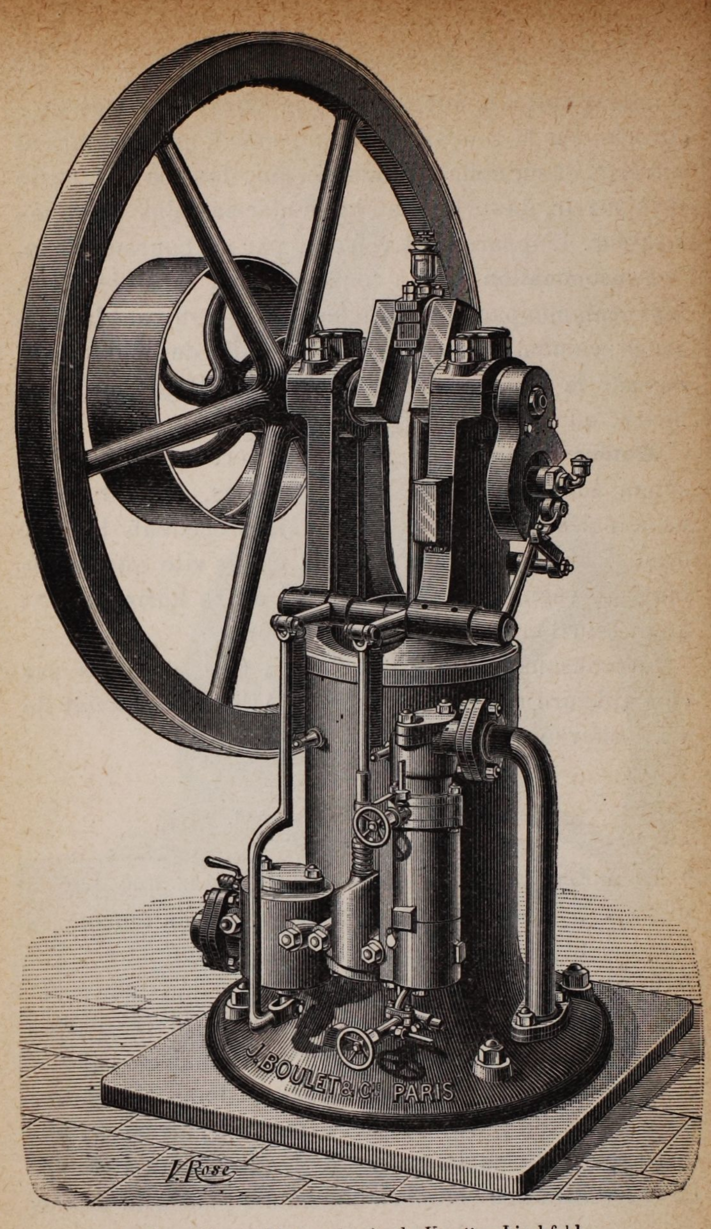


Fig. 115. — Moteur à pétrole Kœrting-Lieckfeld.

d'un brûleur, et dans laquelle le pétrole achève de se volatiliser.

Allumage et mise en train. — Le même brûleur maintient au rouge le tube de porcelaine qui sert à l'allumage.

Pour mettre en marche, on chauffe le brûleur avec une lampe à alcool : lorsque le pétrole brûle avec une flamme bleue, on attend un quart d'heure et on lance le volant.

« Ready Motor » de Brayton.

Les moteurs à pétrole sont généralement à quatre temps. Le moteur de Brayton fait exception : il est à combustion et appartient par conséquent au troisième type. Il avait été conçu tout d'abord pour l'emploi du gaz d'éclairage et marchait alors avec la même douceur et la même régularité qu'une machine à vapeur ; mais il se détériorait rapidement, et il n'est plus employé qu'avec le pétrole. D'ailleurs la qualité du pétrole n'a pas d'importance : on peut même utiliser certaines huiles lourdes qui se vendent à bas prix et qui ont, paraît-il, l'avantage inespéré de donner, en brûlant incomplètement, un résidu gras qui lubrifie le cylindre. Un volume de pétrole peut carburer 24 000 volumes d'air.

Le moteur de Brayton, comme beaucoup d'autres, a subi plusieurs transformations ; il a été successivement à double effet, puis à simple effet, horizontal et vertical ; nous décrirons le modèle vertical à simple effet.

Ce modèle rappelle la disposition du moteur Bénier (page 193). Le cylindre est ouvert à la partie inférieure ; la tige du piston, qui est articulée, commande

l'arbre de couche au moyen d'un balancier horizontal, d'une bielle et d'une manivelle.

Le carburateur (fig. 116) est disposé sur le fond du cylindre E et communique avec lui par le conduit N ; il est divisé en trois chambres. Celle du milieu A, qui forme le carburateur proprement dit, est remplie de feutre, d'éponge, ou d'une substance poreuse quelconque ; elle est séparée de la chambre M par une

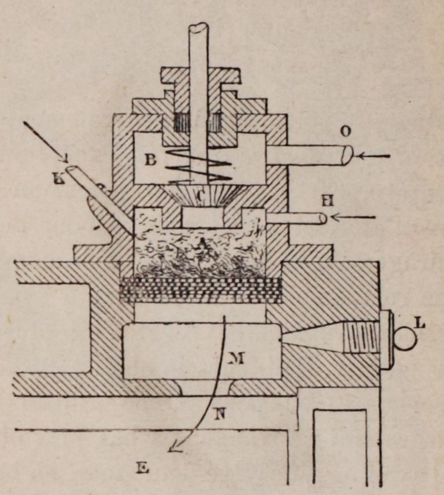


Fig. 116. — Carburateur Brayton.

série de toiles métalliques ou de plaques de métal perforées et de B par la soupape d'admission C ; enfin elle reçoit par les deux conduits H et K du pétrole et de l'air à haute pression. Le pétrole, qui arrive par H sous l'action d'une petite pompe à piston plongeur, imbibe les matières poreuses. L'air sous pression, introduit par K, provient d'un réservoir et sert seulement à pulvériser et à émulsionner le pétrole, afin qu'il

puisse se mettre en suspension dans l'air à carburer. Au commencement de la course avant, la soupape d'admission C s'ouvre et laisse pénétrer l'air extérieur, qui se charge d'hydrocarbure en traversant A et arrive dans la chambre M, toujours remplie de flammes. Cet air carburé brûle donc au fur et à mesure de son introduction dans le cylindre, qui se prolonge pendant environ le premier tiers de la course. Pendant les deux autres tiers se produit la détente; puis le piston revient en arrière.

Tous les organes du moteur Brayton sont supportés par un bâti, à la partie supérieure duquel se trouve l'arbre de couche, placé au même niveau que le fond du cylindre. Les organes de distribution sont commandés au moyen de cames et de leviers, par un arbre auxiliaire horizontal, qui reçoit le mouvement de l'arbre moteur par un engrenage conique à roues égales. La soupape d'échappement est placée sur le fond du cylindre. La pompe à pétrole est commandée par un excentrique, calé sur l'arbre auxiliaire. Le réservoir d'air comprimé est alimenté par une pompe de compression verticale, de même diamètre que le cylindre moteur, mais d'une longueur deux fois moindre et placée à côté de lui ; le piston de cette pompe prend son mouvement sur le balancier ; ses organes de distribution sont mus par l'arbre auxiliaire.

Le régulateur agit sur la quantité d'air admise et par conséquent sur la durée de la combustion : pour cela, il fait glisser sur l'arbre auxiliaire la came de la soupape d'admission, qui est conique. La quantité de pétrole se règle à la main; quant à l'air comprimé, une soupape de sûreté empêche sa pression de dépas-

ser la limite voulue, la pompe à air n'étant pas sous la dépendance du régulateur.

Pour mettre en marche, on fait d'abord fonctionner à la main la pompe à pétrole, afin d'imbiber les matières poreuses, puis on tourne au volant, afin de comprimer l'air et de pulvériser l'hydrocarbure. Quand l'air atmosphérique, introduit par O, est assez carburé, on ouvre le bouchon L et on allume le gaz en M : l'appareil peut alors fonctionner seul.

La combustion en M est entretenue par le passage de l'air comprimé. Les toiles métalliques empêchent la flamme de se propager en A ; du reste, avec le pétrole ordinaire, le danger est beaucoup moins grand qu'avec le gaz d'éclairage.

Pour éviter de tourner au volant, ce qui est assez laborieux, on peut munir le moteur d'un self-starter automatique, composé d'un solide réservoir dans lequel, à la fin de la journée, on refoule l'air comprimé. Il suffit alors, pour la mise en marche, de faire fonctionner à la main la pompe à pétrole et de faire communiquer ce réservoir avec le cylindre : la pression fait démarrer le piston.

Pour un moteur d'un cheval, la consommation est de 4/5 de litre de pétrole par cheval-heure ; pour une machine de 3 chevaux, elle se réduit à un demi-litre.

CHAPITRE XIV

APPLICATIONS DES MOTEURS A GAZ TONNANTS

Avantages des moteurs à gaz. — Emploi dans le cas des petites forces. — Emploi pour les grandes puissances. — Cas d'un emploi intermittent. — Emploi des moteurs à pétrole. — Applications des moteurs à gaz et à pétrole : distributions d'eau, appareils de levage, distributions d'énergie, éclairage électrique, locomobiles, tramways, voitures, tricycles et bicyclettes, bateaux.

Avantages des moteurs à gaz. — Dans les villes qui possèdent une usine à gaz, et dans lesquelles le moteur peut être alimenté par les conduites de distribution, les avantages que présente cet appareil sur la machine à vapeur peuvent, d'après M. Chauveau, se résumer ainsi :

1° Espace plus restreint ;

2° Facilité de pose en n'importe quel lieu, aucune loi n'en régissant l'installation ;

3° Diminution des risques d'incendie et par suite des primes d'assurances ;

4° Diminution des risques d'accidents ;

5° Suppression des charrois de combustibles et de cendres ;

6° Suppression des nettoyages de chaudières ;

7° Inutilité d'un homme spécial pour la conduite ;

8° Suppression des heures supplémentaires et autres dépenses pour la mise en marche et l'arrêt ;

9° Suppression totale des dépenses au repos ;

10° Mise en marche immédiate ;

11° Arrêt instantané.

Par suite des avantages que nous venons d'indiquer, les moteurs à gaz se prêtent facilement à toutes les applications et se sont beaucoup répandus dans l'industrie, surtout depuis quelques années. « En toute circonstance, ils ont donné pleine satisfaction aux acquéreurs. Comment pourrait-il en être autrement ? Ces moteurs se placent partout, aux étages aussi bien qu'aux sous-sols ; aucune fondation n'est nécessaire ; ils arrivent tout montés et on les installe sans aucune autorisation de l'administration ; il n'y a pas d'explosion à redouter ; pour les mettre en activité, il suffit de tourner un robinet, et cela, au moment voulu, à une heure quelconque de la journée ; ils n'exigent presque aucune surveillance. Une machine à vapeur au contraire est entravée de toute façon dans son application ; elle exige une chaudière, un fourneau et tous leurs accessoires ; un ouvrier spécial doit venir allumer les feux tous les matins, au moins une heure à l'avance, et même deux heures, si la veille était un jour férié ; il faut gouverner le feu avec une vigilance extrême. L'ouvrier qui travaille en chambre ne peut guère employer la machine à vapeur ; il est obligé de recourir à des hommes de peine pour obtenir quelques kilogrammètres, que le moteur de Bisschop lui fournit à bas prix et avec une facilité remarquable (Witz). »

Emploi dans le cas des petites forces. — C'est en effet dans la production des petites forces, de 3 kilogrammètres à 4 chevaux, que le moteur à gaz a triomphé d'abord ; il présente alors de tels avantages que la plupart des corps de métiers se sont adressés à lui et que l'industrie ne pourrait plus aujourd'hui s'en passer pour cette application.

Dans ce cas, en effet, le moteur à gaz ne le cède à aucune autre machine, au point de vue économique. Ainsi, d'après les calculs donnés par M. Witz, le prix de revient par heure, pour une puissance de 6 kilogrammètres, serait de 0,205 fr. avec le moteur Bisschop, de 0,200 fr. avec un moteur Popp à air comprimé et de 0,152 avec un moteur à air raréfié. Pour une puissance de 2 chevaux, le prix du cheval-heure serait de 0,32 fr. avec un moteur à gaz Lenoir, de 0,43 avec un moteur à air carburé Durand, de 0,34 avec une machine à vapeur Boulet, de 0,38 avec un moteur à air chaud Bénier, et de 1,09 avec un moteur à eau Schmid.

Si l'on tient compte en outre de la régularité de la marche, de la facilité de l'installation, de la conduite et de l'entretien, on voit que le moteur à gaz tonnant l'emporte de beaucoup sur tous ses concurrents. Il en est surtout ainsi lorsqu'on n'a besoin de l'énergie que d'une façon intermittente et discontinue, car ces moteurs sont toujours prêts à fonctionner sans aucune perte de temps pour la mise en train.

Emploi des moteurs à gaz pour les grandes puissances. — Nous avons dit que, jusqu'à 4 chevaux, le moteur à gaz remplace avantageusement la force musculaire et ne le cède pas à la machine à vapeur, au point de vue économique, tout en l'emportant sur elle à certains points de vue. Au-dessus de 4 chevaux, les conditions changent, et la machine à vapeur devient plus économique. Ainsi, pour une puissance de 25 chevaux, le prix du cheval-heure est de 0,14 fr. avec un moteur à gaz Simplex et de 0,09 avec une machine à vapeur compound Boulet, type pilon ; dans ce calcul, on a compté le gaz à 0,20 fr. le mètre cube.

Il est évident que les résultats de cette comparaison dépendent beaucoup du prix de revient du gaz. « Le moteur à gaz est *pratiquement* meilleur que la machine à vapeur. Son infériorité n'est qu'apparente. Il est vaincu dans la lutte économique, parce qu'il ne combat pas à armes égales : il est grevé de tous les bénéfices des Compagnies gazières et des impôts draconiens des municipalités (Witz). » Un industriel qui fabriquerait son gaz, comme il fabrique sa vapeur, produirait de la force motrice dans des conditions bien différentes de celles que nous venons d'indiquer. Ainsi, à la raffinerie de sucre Pfeifer et Langen, d'Elsdorff, qui emploie deux moteurs Otto de 60 chevaux, alimentés par du gaz de houille produit dans l'usine même, le prix de revient de ce gaz est de 0,0325 fr. le mètre cube ; le moteur consommant 680 litres, on dépense 0,022 fr. de gaz par cheval-heure ; c'est le huitième de ce que l'on paie aux usines à gaz.

L'économie est encore plus sensible avec les gaz pauvres, tels que le gaz Dowson. C'est ce qui résulte des expériences faites par M. Witz sur un moteur Simplex de 75 chevaux effectifs : la dépense pour une journée, intérêt, amortissement et toutes autres dépenses comprises, s'élevait à 39,61 fr. ; pour une machine à vapeur de même puissance, on trouve, en prenant les prix d'achat moyen, 47,92 fr., soit une différence de 8,31 fr., par jour, ou de 2493 fr. par année de 300 jours, au bénéfice du moteur à gaz.

« Le moteur à gaz réalise donc une économie quotidienne considérable ; il coûte un peu moins cher, occupe un peu moins de place, consomme moins d'eau et marche aussi bien qu'une machine à vapeur (Witz) ».

Le moteur à gaz peut, on le voit, lutter avantageusement contre la machine à vapeur, même pour les grandes puissances, à condition qu'on fabrique son gaz soi-même ou mieux encore qu'on fasse usage de gaz pauvres.

Cas d'un emploi intermittent. — Il est encore un cas où le moteur à gaz doit être préféré à la machine à vapeur, même en employant le gaz des conduites de distribution; c'est lorsque l'appareil ne doit fonctionner que d'une manière discontinue et intermittente, comme cela a lieu le plus souvent dans les stations d'électricité. La durée de l'éclairage ne dépassant guère 5 à 6 heures, même en hiver, la dépense est à peu près la même avec le gaz ou avec la vapeur. M. Witz a même constaté, sur une importante installation de 16 arcs et 71 lampes de 16 bougies, qui avait remplacé l'éclairage au gaz et qui était alimentée par une dynamo et un moteur à gaz, que la consommation du gaz avait été réduite de 17 0/0, bien qu'on obtînt une plus grande quantité de lumière.

Emploi des moteurs à pétrole. — Les moteurs à pétrole présentent à peu près les mêmes avantages que les moteurs à gaz. En outre, ils forment un appareil complet, produisant automatiquement son gaz et prêt à fonctionner instantanément. Mais ils sont un peu plus coûteux, plus dangereux et plus délicats que les moteurs à gaz. Aussi, bien qu'ils conviennent aux mêmes applications, on les emploie plus rarement dans les villes, qui possèdent ordinairement une usine à gaz ; en revanche, ils trouvent un débouché spécial soit dans les campagnes, soit pour la traction, la navigation, et tous les usages qui exigent un moteur transportable.

Applications des moteurs à gaz et à pétrole. — Les moteurs à gaz sont employés aujourd'hui dans presque toutes les industries. Dans les entreprises de constructions, la menuiserie, la fonderie, la mécanique, etc., ils commandent les machines-outils. Chez les dentistes, les lapidaires, les confectionneurs, les fabricants d'eaux gazeuses, ils produisent de petites forces ; on les voit même, chez les commerçants comme les boulangers, les charcutiers, les épiciers, les éleveurs, etc., remplacer l'homme pour mettre en mouvement des hache-viande, des hache-paille, des coupe-racines, des brûloirs à café, des pétrins mécaniques, etc.

Les moteurs à pétrole se prêtent aux mêmes applications, et conviennent particulièrement, comme nous l'avons dit plus haut, aux installations agricoles : c'est ce que montre la figure 117, qui représente un moteur à pétrole Hornsby-Akroyd actionnant un concasseur de grains.

Les moteurs à gaz de grande puissance sont souvent employés dans les minoteries ; plusieurs moteurs Simplex et Crossley, de 100 et de 200 chevaux, sont utilisés pour cette application.

Les moteurs à pétrole paraissent appelés à prendre une large place dans la même industrie : les types Priestman et Grob y sont déjà employés.

Les moteurs à gaz tonnants servent encore à actionner des ventilateurs, des monte-charges, des ascenseurs, ainsi que pour élever l'eau dans les installations privées ou publiques : c'est surtout en Angleterre et en Allemagne qu'ils sont utilisés pour les distributions d'eau. On peut citer les *waterworks* de Reading, de Teignmouth, de Birmingham, de Mont-

gommery, d'Uxbridge, etc. A Montgommery, deux moteurs Crossley de 4 chevaux refoulent 16 m. c.

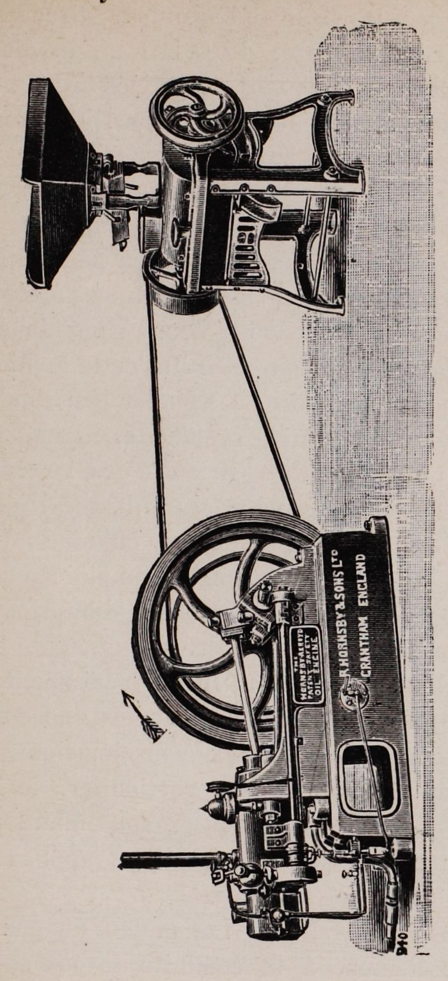


Fig. 117. — Moteur Hornsby-Akroyd avec concasseur de grains.

d'eau, sous une charge de 55 m.; quoique ces moteurs soient alimentés au gaz de ville, le mètre cube d'eau

pompée revient seulement à 0,03 fr. A Uxbridge, deux moteurs Atkinson, de 15 chevaux chacun, marchant au gaz Dowson, commandent directement des pompes à double effet, de 0,125 m. de diamètre et 0,405 de course, qui sont installées à 24 mètres de profondeur : la dépense de combustible par cheval-heure *en eau montée* ne dépasse pas 680 gr.

La figure 118 représente une installation du même genre, effectuée à la *Fenny Stratford Water Works*, Bucks (Angleterre) : deux moteurs à pétrole Hornsby-Akroyd actionnent des pompes destinées à élever l'eau.

On trouve beaucoup de moteurs à gaz dans les filatures de laine, de coton et de lin; cette application est d'autant plus importante à signaler que l'industrie du fil exige une très grande régularité. Signalons encore deux cas où les qualités spéciales des moteurs à gaz, volume restreint, sécurité, surveillance insignifiante, dépense nulle au repos, mise en marche et arrêt instantanés, trouvent un heureux emploi : nous voulons parler de la conduite des presses d'imprimerie et de la production de la lumière électrique. Un grand nombre d'imprimeries utilisent ces appareils pour créer la force motrice qui leur est nécessaire; un certain nombre de journaux sont imprimés avec des presses ainsi conduites, en particulier, le *Temps*, le *Matin* et *La Lanterne*. Nous croyons maintenant utile d'insister un peu plus sur quelques applications plus importantes de ces moteurs.

Appareils de levage. — Les moteurs à gaz conviennent parfaitement à la conduite de ces appareils, à cause de la rapidité avec laquelle on peut les arrêter ou les mettre en train ; mais, pour que leur emploi soit

véritablement économique, il faut que les conducteurs

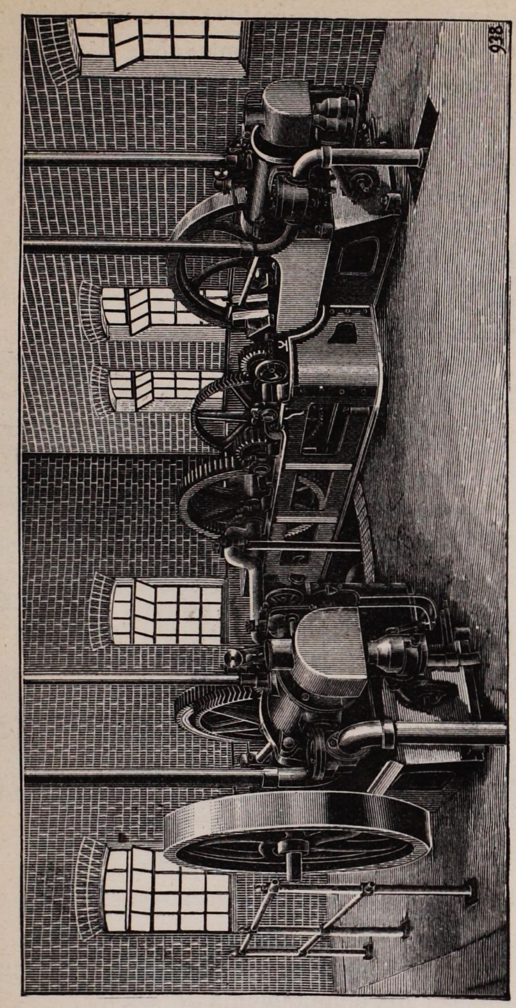


Fig. 118. — Moteurs Hornsby-Akroyd actionnant des pompes.

aient soin de les arrêter chaque fois que l'ouvrage manque, au lieu de les laisser marcher toute la jour-

née, pour s'éviter les mises en marche fréquentes. Il faut d'ailleurs, pour que cette manœuvre soit facile, disposer d'un self-starter très maniable. Il convient, en outre, de disposer sur les transmissions des manchons

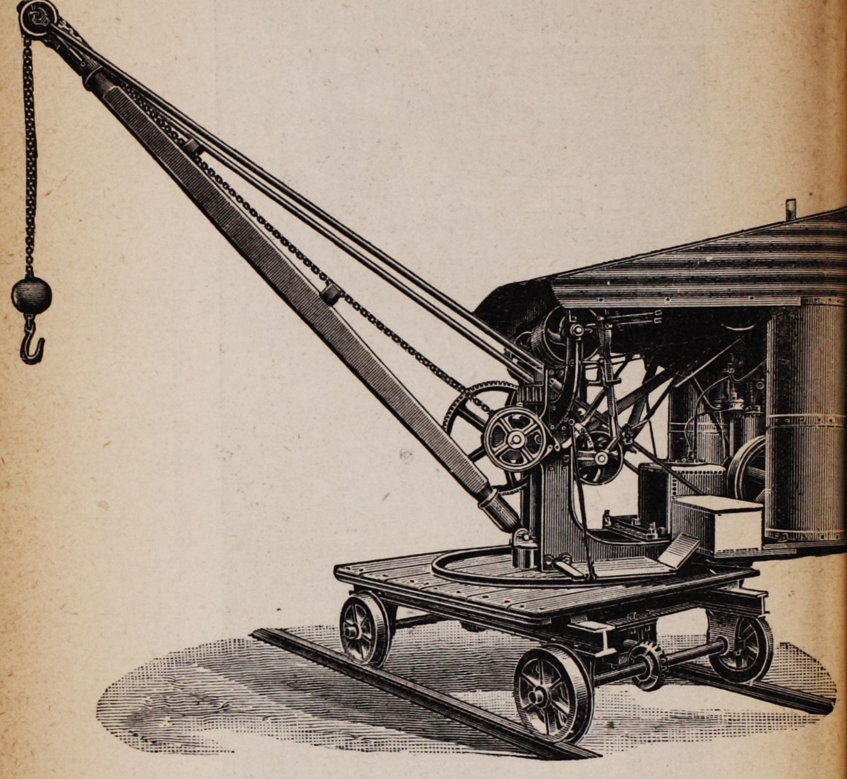


Fig. 119. — Grue locomobile à pétrole. (Cadiot et Cie).

d'inversion d'un maniement rapide, le moteur à gaz ne se prêtant pas aux changements de sens.

Dans ces conditions, le moteur à gaz convient très bien à la manœuvre des grues, des treuils, des monte-

charges, des tire-sacs, des ascenseurs et des autres appareils du même genre. 700 moteurs à gaz sont employés à cet usage dans les docks de Liverpool.

Les moteurs à pétrole peuvent rendre le même service : la figure 119 montre une grue locomobile, alimentée au pétrole ordinaire, qui peut soulever 1015 kgr. et ne consomme, d'après le constructeur, qu'environ un demi-litre d'hydrocarbure par cheval-heure.

Distributions d'énergie. — Parmi les procédés qui ont été essayés pour la distribution de l'énergie à distance, l'électricité et le gaz d'éclairage sont les deux seuls agents qui semblent devoir donner de bons résultats : ils l'emportent de beaucoup sur l'eau et l'air comprimés, l'air raréfié et l'emploi des câbles télédynamiques. Il appartient à l'électricité de transporter à distance l'énergie provenant des sources naturelles. Le gaz permet, comme l'électricité, de produire en un seul point une grande quantité d'énergie, qu'on distribue ensuite aux consommateurs, suivant leurs besoins, et l'on peut ainsi bénéficier des avantages qui résultent de l'emploi de puissants générateurs d'énergie. En outre, il permet de distribuer cette énergie facilement et économiquement, la canalisation se composant d'un simple tuyau, qui n'a pas besoin d'être résistant, puisque la pression du gaz est toujours faible ; cette canalisation n'occasionne pas d'autres pertes que celles provenant des fuites, et ces pertes n'atteignent pas 10 0/0 lorsque les tuyaux sont bons. La mise en marche des moteurs à gaz est simple et rapide, de sorte qu'ils ne sont pas inférieurs à ce point de vue aux appareils électriques ou hydrauliques et aux machines à air comprimé. Enfin le gaz a l'avantage de distribuer

à la fois, comme l'électricité, la force motrice, la lu-

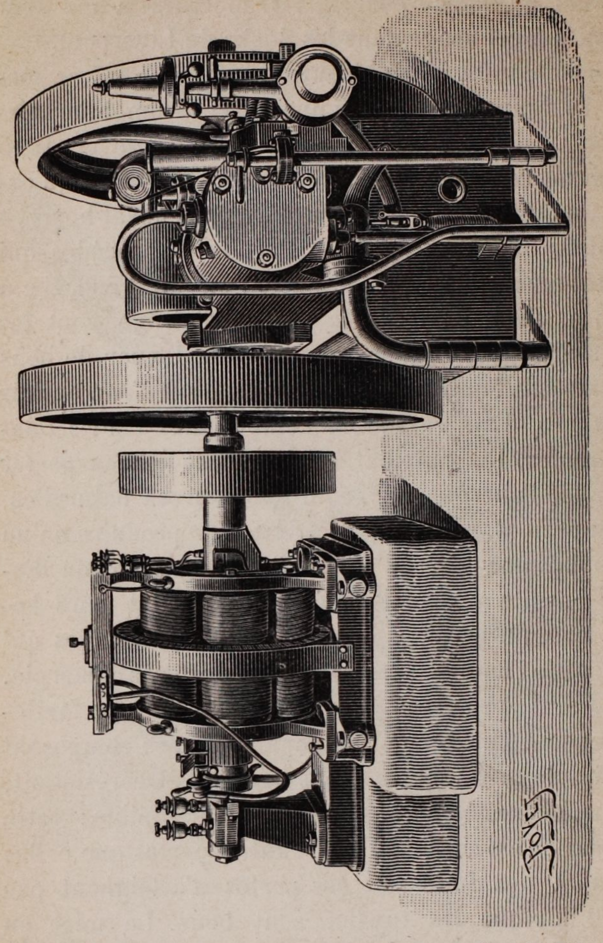


Fig. 120. — Dynamo à gaz (maison Bréguet).

mière et la chaleur ; aucun autre mode de distribution ne donne ce résultat.

Le seul inconvénient du gaz, c'est son prix élevé ; on pourrait y remédier en distribuant un gaz spécial,

tel que le gaz Dowson, pour la force motrice et le chauffage.

Éclairage électrique. — Les moteurs à gaz et à pétrole, à cause de la facilité de la mise en marche et de l'arrêt, ainsi que pour leurs autres qualités, conviennent bien à la conduite des dynamos, en particulier lorsqu'elles servent à produire la lumière par arc et par incandescence. On peut seulement, dans ce cas, reprocher aux moteurs à quatre temps l'irrégularité de marche provenant de ce qu'ils n'ont qu'une explosion tous les deux tours; mais on peut remédier à ce défaut par l'emploi de deux volants, ou en se servant d'un moteur à deux ou plusieurs cylindres.

Certains constructeurs ont combiné, pour cet usage, des modèles spéciaux qui donnent d'assez bons résultats pour qu'on puisse les accoupler directement avec les dynamos. La figure 120 montre un moteur Crossley réuni ainsi avec une dynamo Desroziers; un régulateur spécial rend la marche parfaitement constante. Le système fait 250 tours par minute, vitesse qui convient également bien aux deux appareils. La liaison entre les deux machines est effectuée au moyen d'un accouplement élastique Raffard, dont l'interposition fait disparaître les petites variations de vitesse que pourrait donner encore la marche à quatre temps. Ce mode de jonction évite en outre les pertes d'énergie que produisent toujours les courroies et les transmissions intermédiaires.

Les moteurs à pétrole peuvent être utilisés de la même manière. Comme dans les autres applications, ils conviennent particulièrement pour les installations mobiles.

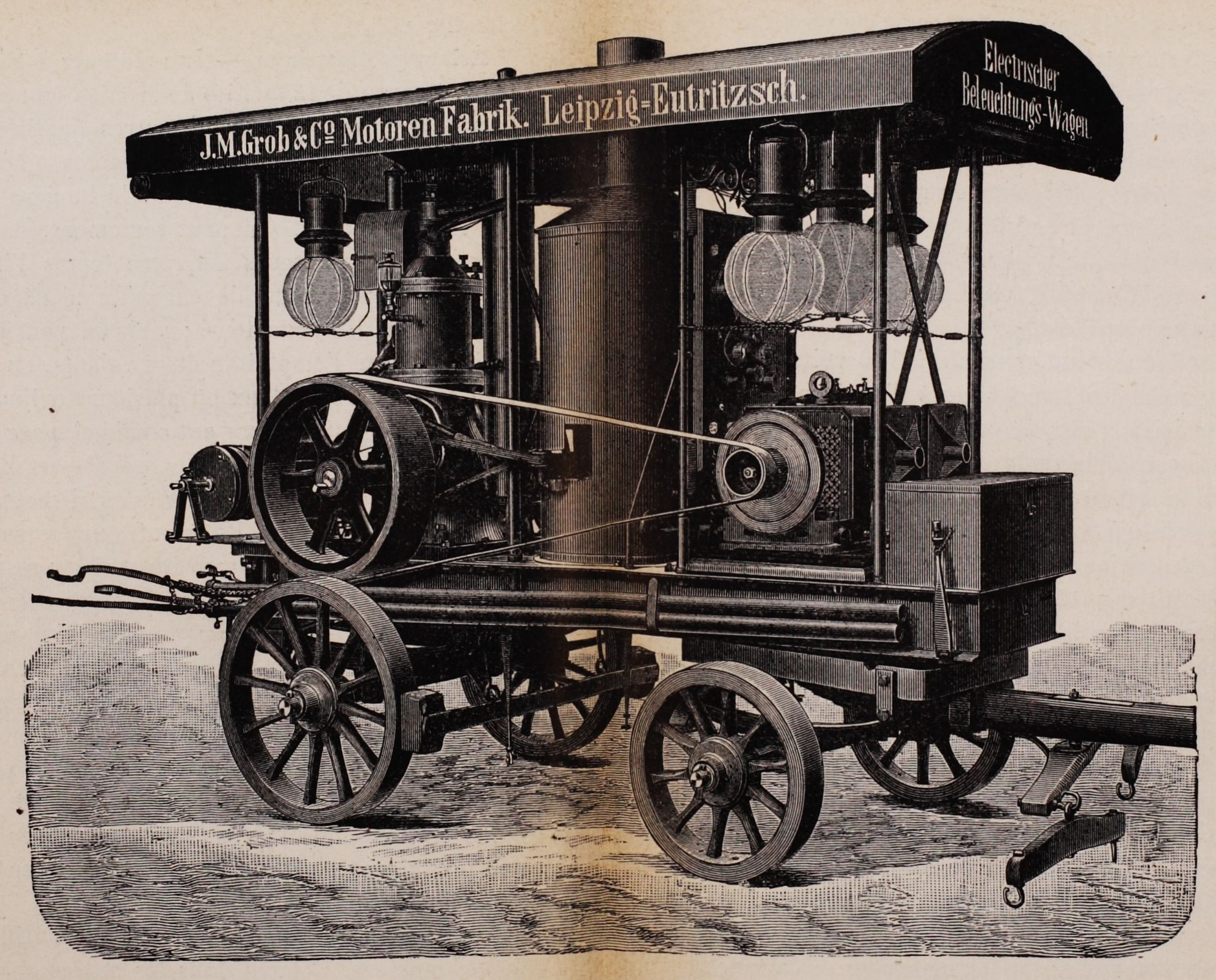


Fig. 121. — Voiture Grob pour éclairage électrique.

La Compagnie des Moteurs universels a imaginé (fig. 121) un dispositif de ce genre : une voiture d'une construction légère et solide porte à l'arrière un moteur à pétrole Grob de 4 chevaux, à l'avant une dynamo, commandée par courroie. Derrière la dynamo se trouve le tableau de distribution, portant un ampèremètre, un voltmètre, le coupe-circuit et les autres appareils accessoires. Les résistances sont placées au-dessous de la dynamo. Au centre du chariot se voit un appareil refroidissant à ventilation, qui permet de de ne pas renouveler l'eau.

La machine donne deux courants à 110 volts, pouvant alimenter chacun 2 régulateurs d'environ 5 ampères ; un troisième circuit peut allumer un certain nombre de lampes à incandescence, dont deux pour l'éclairage de la dynamo et du moteur. Les lampes à arc sont suspendues à des colonnes démontables munies de cercles à suspension ; ces colonnes sont maintenues par des cordes à tirage et se montent très simplement. Pendant le trajet, ces lampes sont fixées dans l'intérieur du chariot à des suspensions à ressorts ; les colonnes sont attachées à la voiture. Les conducteurs sont enroulés sur des tambours. Une toiture en fer facilement démontable et des abris latéraux imperméables garantissent les machines contre le mauvais temps. Deux chevaux suffisent parfaitement pour traîner cette voiture. Ce dispositif convient particulièrement pour l'éclairage des chantiers et des grands espaces découverts.

L'emploi de moteurs à gaz tonnants pour l'éclairage électrique ne convient pas seulement aux installations privées ou temporaires ; il peut être adopté aussi avec

économie pour les stations centrales, qui généralement ne travaillent qu'un petit nombre d'heures chaque jour. Ainsi, les moteurs alimentés au gaz de ville sont employés, en France, dans les stations des villes suivantes : Agen, Bordeaux, Calais, Dieppe, Dunkerque, Foix, La Palisse, Marseille, Montpellier, Reims, Saint-Nazaire, Toulon, Trouville, Valence, Verdun, Villeneuve-sur-Lot.

Les stations centrales qui emploient les moteurs à gaz sont souvent exploitées par les Compagnies gazières elles-mêmes ; cette combinaison, qui débarrasse ces Compagnies d'une rivalité gênante, est évidemment économique, car les frais généraux ne sont pas sensiblement augmentés, et les dépenses d'exploitation sont modérées, la Compagnie fabriquant elle-même le gaz de ses moteurs ; de plus, elle est avantageuse pour les consommateurs, auxquels elle laisse la liberté d'employer à leur gré le gaz ou l'électricité.

Il y aurait même intérêt pour les particuliers à créer de petites stations centrales au centre d'îlots de maisons suffisamment importants. On pourrait desservir ainsi trente ou quarante clients, sans que les conducteurs aient besoin de traverser les rues et par conséquent sans qu'on ait à s'inquiéter du monopole des Sociétés d'éclairage. De plus, la canalisation électrique étant très courte, les frais d'installation seraient notablement diminués. Les Compagnies gazières auraient sans doute intérêt à favoriser la création de ces petites usines, en donnant les moteurs et les dynamos en location, comme les appareils de chauffage.

Locomobiles. — Cette application offre un champ étendu à l'emploi des moteurs à gaz. Les locomobiles

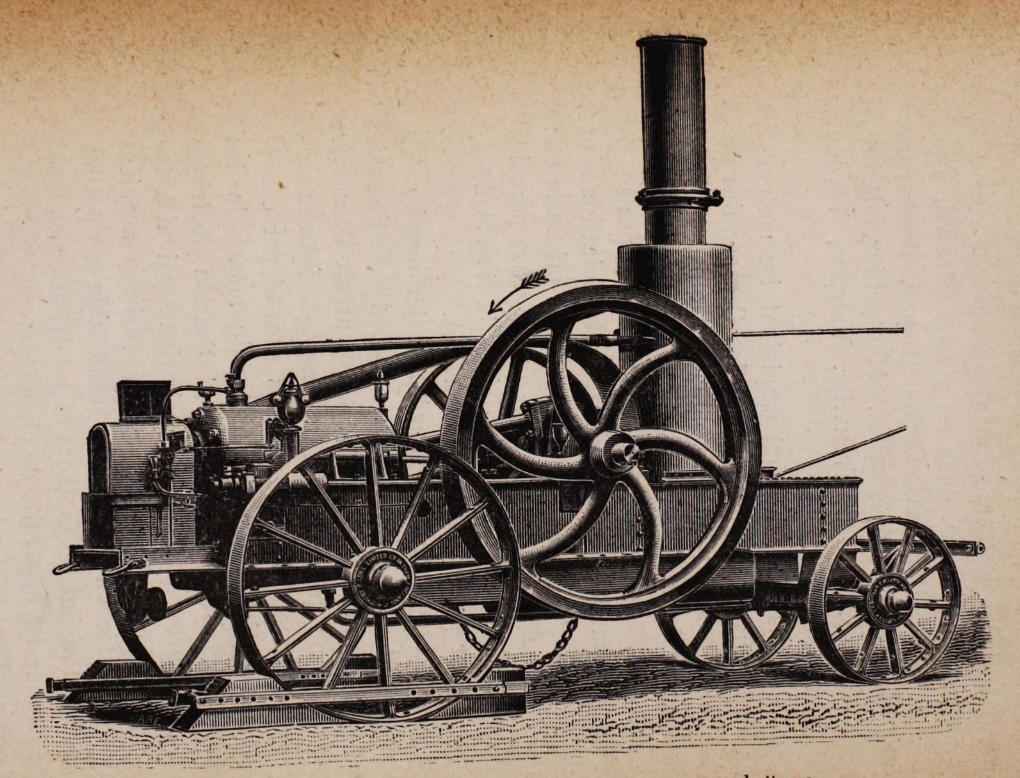


Fig. 122. — Locomobile Hornsby-Akroyd actionnant une batteuse.

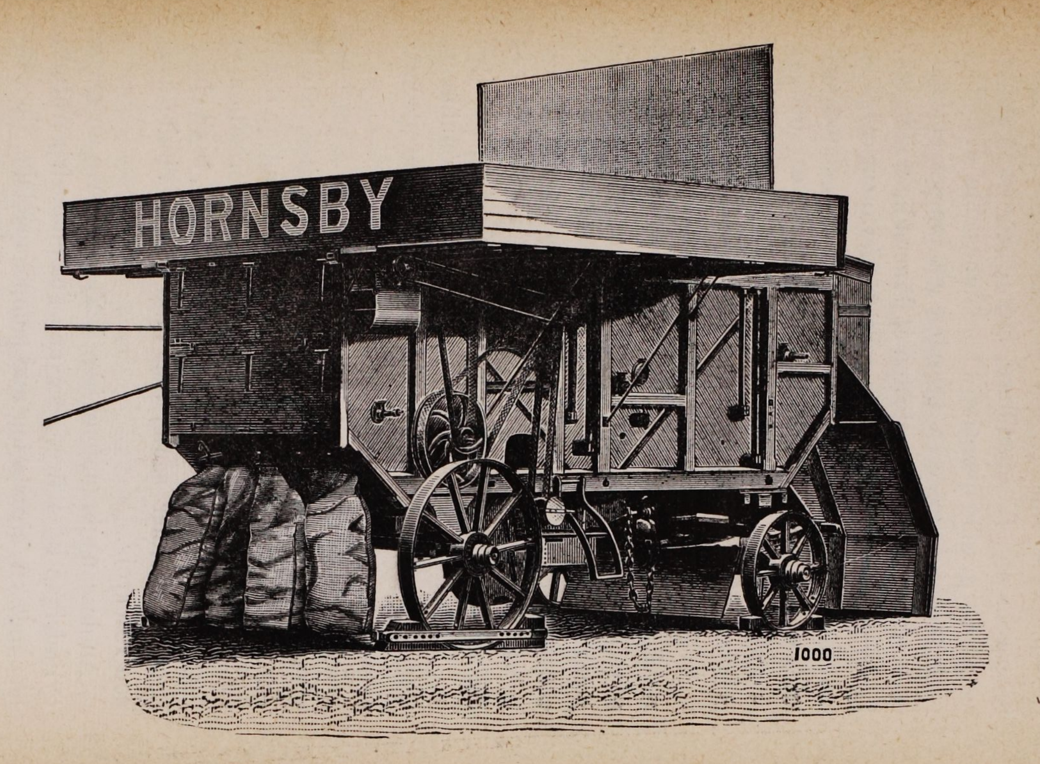


Fig. 122. — Locomobile Hornsby-Akroyd actionnant une batteuse.

à pétrole sont évidemment destinées à supplanter les locomobiles à vapeur, qui présentent de nombreux inconvénients. La chaudière, lourde et encombrante, exige une grande quantité d'un combustible difficile à transporter; la mise en pression est longue et laborieuse, les risques d'explosion et d'incendie nombreux, la surveillance délicate. La machine à vapeur exige en outre une grande quantité d'eau, et si, comme cela arrive le plus souvent, le liquide employé est boueux ou calcaire, les inconvénients que nous venons d'énumérer sont fortement accrus.

Avec les moteurs à pétrole, on peut loger facilement dans un réservoir de petites dimensions une provision de combustible suffisante pour plusieurs jours ; il n'y a pas de danger d'incendie si l'appareil est convenablement disposé. Il est vrai qu'on a généralement besoin d'un courant d'eau pour rafraîchir le cylindre, mais cette eau n'a pas besoin d'être pure, et la même masse liquide peut servir indéfiniment. Quelques machines possèdent même des appareils spéciaux pour la réfrigération de l'eau.

Le moteur Hornsby-Akroyd est un de ceux qui conviennent le mieux au service des locomobiles, car il est très robuste et très facile à conduire, puisqu'il n'a pas de lampe et que l'allumage et la vaporisation se font spontanément. Une fois mise en marche, la machine peut fonctionner seule, tant qu'il y a de l'huile dans son réservoir.

Au-dessous du moteur (fig. 122) se trouve un corps cylindrique tubulaire, recevant l'eau de réfrigération, que met en circulation une pompe spéciale. Un courant d'air froid, appelé par la décharge, traverse le

faisceau tubulaire et refroidit ainsi l'eau qui s'est échauffée au contact du cylindre.

L'appareil entier est monté sur quatre roues en fer.

Dans la locomobile Priestman, on retrouve le moteur du même nom, avec son carburateur et son bâti (fig. 123) ; le tout est monté sur un petit chariot à quatre roues, qu'on peut tirer à la main ; cette disposition très simple permet d'employer la machine partout, même dans les granges et hangars de toute espèce. L'allumage est électrique. Il est bon de filtrer l'air admis à travers un tampon d'ouate, lorsque l'on travaille en plein air ou dans un local dont l'atmosphère est remplie de poussière.

Le moteur Niel a été aussi transformé en locomobile, en le montant sur un chariot ; il est recouvert d'une toiture, et les organes principaux sont entourés de cloisons qui les protègent contre le vent, la poussière et les intempéries; sous le chariot est disposé un caisson qui reçoit l'eau de réfrigération,

La locomobile Grob présente les mêmes dispositions qu'on observe à l'arrière de la voiture à lumière; il nous paraît donc inutile d'y insister. La figure 124 montre une locomobile Grob, dépourvue d'appareil refroidisseur, qui. actionne une pompe centrifuge.

La locomobile Merlin (fig. 125) est munie d'un moteur vertical, du type pilon, installé au-dessus de l'essieu d'arrière. Le réservoir à pétrole est logé sous le bâti entre les deux longerons du chariot et forme socle ; il est rectangulaire et fermé par un bouchon à vis. Une pompe à air comprime l'air dans ce réservoir sous une pression qu'on fait varier à volonté.

L'eau de refroidissement est placée dans un bac rectangulaire qui occupe l'avant du chariot.

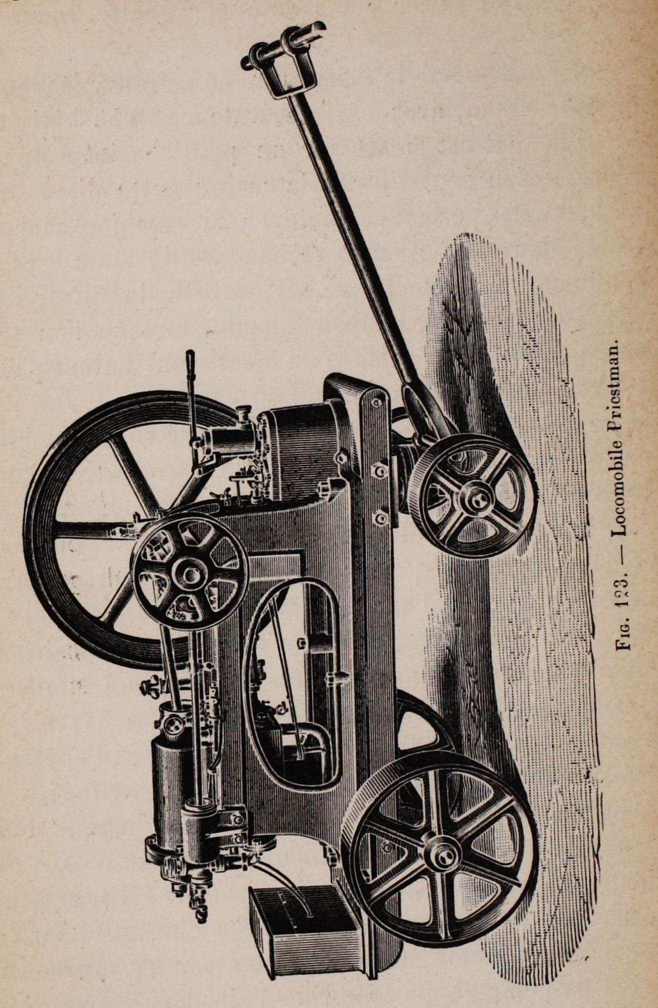


Fig. 123. — Locomobile Priestman.

La pompe à pétrole est très petite et très ramassée ;

elle est placée au-dessus de l'arbre de distribution ; elle est à piston plongeur et à tiroir.

Le régulateur, à force centrifuge, est placé sur l'axe moteur et entouré d'une enveloppe cylindrique : il commande la soupape d'échappement, qui reste ouverte lorsque la vitesse devient trop grande ; la pompe ne débite plus de pétrole ; la pompe à air et la pompe à eau s'arrêtent, ce qui empêche le cylindre de se refroidir trop énergiquement.

Tramways. — On a essayé, à plusieurs reprises, d'appliquer les moteurs à gaz à la traction des tramways. Les dernières tentatives sont les plus intéressantes, puisqu'elles ont utilisé les simplifications et les perfectionnements les plus récents. Parmi ces tentatives, la plus importante est celle de Dresde, qui emploie des voitures du système Lührig, avec un moteur d'un type spécial, construit par la *Gasmotoren fabrik Deutz*.

Ces voitures ont à peu près l'aspect extérieur des voitures à chevaux et contiennent 27 personnes. Elles portent 10 récipients remplis de gaz de houille comprimé, ayant chacun une capacité de 1,25 à 2,50 m. c. Huit de ces récipients sont disposés aux deux extrémités du châssis et sous la caisse; les deux autres sont sur le toit.

Un régulateur distribue le gaz, sous une pression uniforme, aux deux machines jumelles, à doubles cylindres, qui sont logées sous les banquettes, de sorte que les volants se trouvent à l'extérieur et derrière les dossiers. Les deux cylindres sont en prolongement l'un de l'autre, mais de chaque côté de la manivelle motrice. Ces moteurs peuvent agir ensemble ou sépa-

rément sur l'arbre de commande; ils sont de 7 chevaux chacun ; l'allumage est électrique.

Les moteurs entraînent un arbre, qui agit, au moyen de roues dentées, sur l'un ou l'autre de deux arbres intermédiaires, commandant à leur tour les essieux par roues à empreintes ou chaînes de Gall.

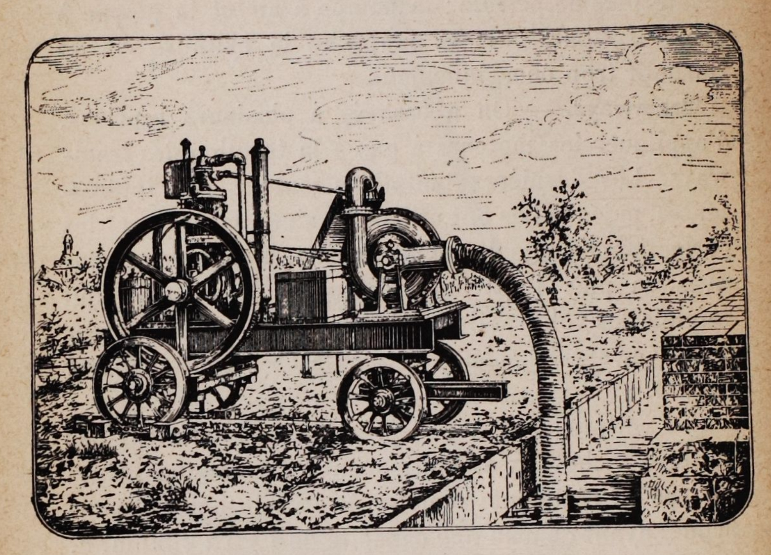


Fig. 124. — Locomobile Grob accouplée avec une pompe centrifuge.

On peut donner aux moteurs trois vitesses ; le changement s'obtient en appuyant sur une pédale qui, à l'aide d'un levier, agit sur le régulateur à boules ; le renversement de marche et le changement mécanique de la vitesse se font par deux leviers qui embrayent ou débrayent convenablement les roues dentées ; la mise en marche et l'arrêt s'effectuent au moyen d'une roue à main qui agit sur les freins et sur un accouplement

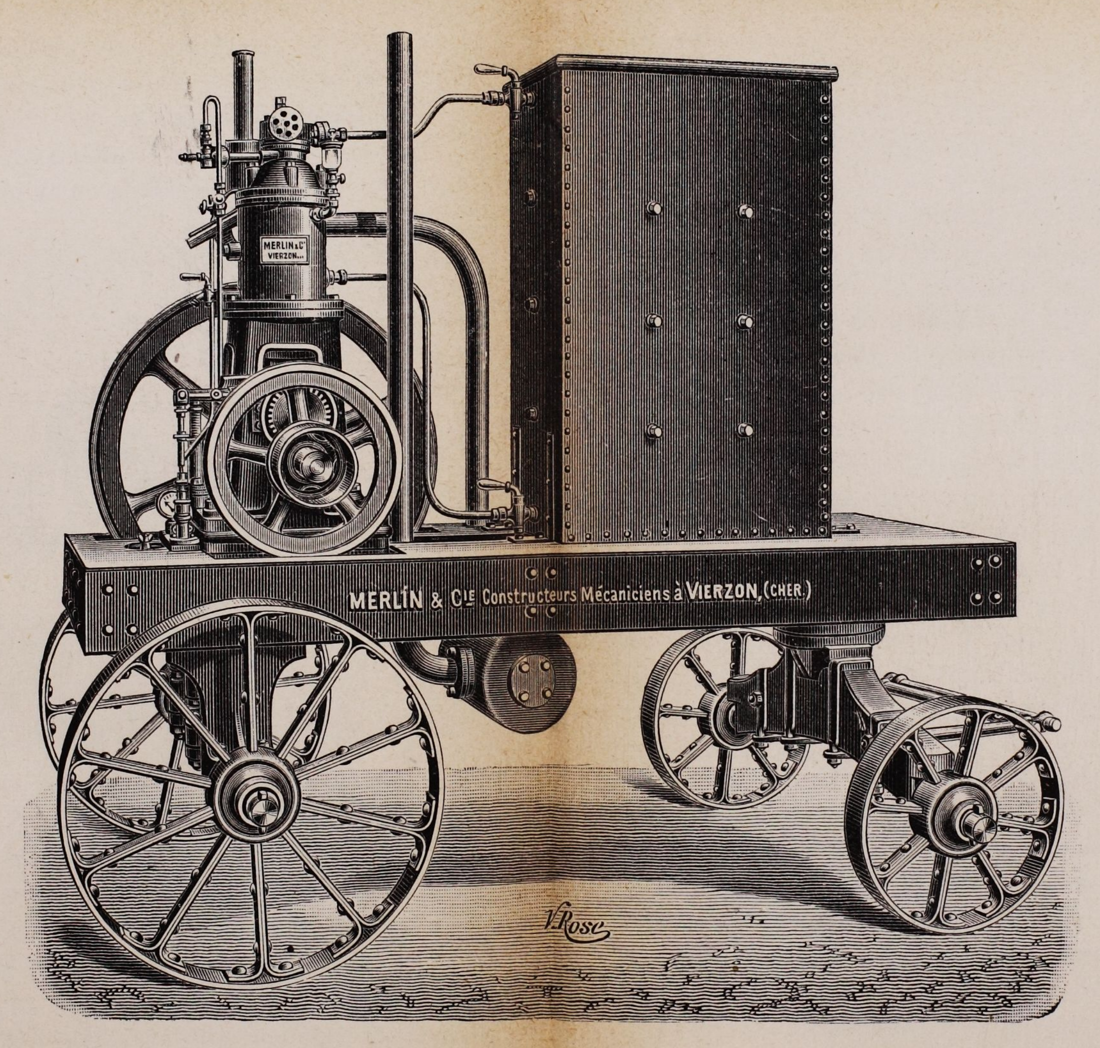


FIG. 125. — Locomobile à pétrole Merlin.

à friction, de façon à dégager les premiers et à débrayer le second ou réciproquement.

Une circulation d'eau sert à refroidir les cylindres.

Pour les fortes rampes, on emploie une voiture plus petite, avec un seul moteur de 10 chevaux, qui consomme, dit-on, moins de 0,50 m. c. par kilomètre-voiture.

D'après M. Kemper, les frais d'exploitation seraient de 0,197 fr. par kilomètre-voiture, en comptant le gaz à 0,15 fr. le m. c., tandis qu'ils s'élèvent, avec la traction animale, de 0,275 à 0,350 fr. La traction électrique donnerait, d'après des rapports officiels, 0,25 fr. par kilomètre-voiture.

L'approvisionnement de gaz est fourni par une station contenant un moteur à gaz de 8 chevaux actionnant par courroie une pompe qui peut comprimer par heure, dans deux réservoirs, 5,560 m. c. de gaz à 8 atmosphères. Cette station puise le gaz dans le réseau de la canalisation. Le chargement d'une voiture s'effectue en moins d'une minute ; il suffit d'établir, par un tuyau de caoutchouc, la communication avec l'un des réservoirs. Deux appareils Schrabetz empêchent les fluctuations du gaz.

Il existe un certain nombre d'autres installations de tramways à gaz ; la plus récente a été mise en exploitation à Dessau le 15 novembre dernier.

Pour cette application, c'est encore aux moteurs à pétrole qu'il convient de s'adresser de préférence. Les tramways à pétrole n'ont pas, comme les tramways électriques, l'inconvénient d'exiger, soit une canalisation souvent disgracieuse ou gênante, si l'on reçoit le courant d'une usine centrale, soit une station de charge si l'on emploie des accumulateurs ; ils occa-

sionnent des frais d'établissement et d'entretien moins élevés que les tramways à air comprimé, et sont, dans les villes, beaucoup plus pratiques que les tramways à vapeur.

Le moteur Daimler, par ses qualités spéciales, convient bien à la traction. A l'exposition de 1889 figurait déjà un petit tramway (fig. 126), muni d'un moteur

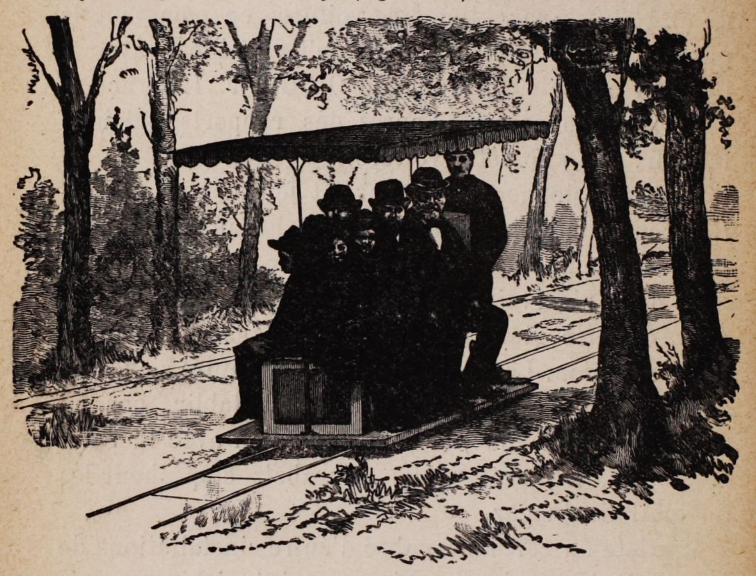


Fig. 126. — Petit tramway avec moteur Daimler.

Daimler à deux cylindres. Ce véhicule peut recevoir huit personnes et le conducteur.

Ce moteur a été aussi appliqué, sur une petite ligne de 700 mètres, à Cannstadt (Wurtemberg) : la voiture, mue par un moteur d'environ 1 cheval, porte douze personnes et possède une vitesse de 6 mètres par seconde, de sorte qu'elle parcourt la ligne entière en deux minutes.

La consommation de gazoline ne dépasserait pas 1 litre par heure.

Le moteur Grob a été aussi disposé sur une locomotive, qui peut s'appliquer aux tramways et aux chemins de fer à voie étroite (fig. 127) : la forme verticale de ce moteur permet de le disposer facilement sur une plate-forme ; un nouveau mécanisme breveté sert à réaliser facilement les changements de marche et de vitesse et à arrêter instantanément la voiture, sans qu'on soit

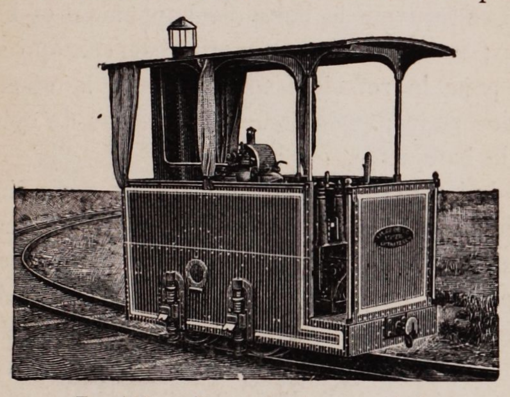


Fig. 127. — Locomotive à moteur Grob.

obligé d'arrêter en même temps le moteur lui-même.

Le moteur Connelly est également employé à la traction des tramways ; il a été appliqué à cet usage, d'abord en Amérique, à New-York, Saint-Louis et Chicago, puis en Angleterre, à Deptford et à Greenwich. Le moteur est alimenté le plus souvent par de l'air carburé au moyen d'une évaporation de pétrole ; cependant, à Chicago, il fonctionne avec du gaz Pintsch, mélangé de 3 volumes pour 1 de gaz naturel ; la provision nécessaire est contenue dans un réservoir, sous une pression de 15 kilogrammes.

Le moteur Otto, modifié par M. Lührig, est employé à Dresde, et le moteur Gilliéron et Amrein est utilisé en Suisse, sur le tramway de Neufchâtel à Saint-Blaize.

Voitures. — La voiture Benz est à trois roues, celle d'avant servant pour la direction. La machine est placée sous la banquette destinée aux voyageurs, qui se trouve entre la roue d'avant et celles d'arrière. Le moteur est monocylindrique et à quatre temps ; au-dessous de lui se trouvent la boîte d'échappement et le carburateur ; au-dessus est un petit réservoir qui contient l'eau pour le refroidissement ; enfin le réservoir de gazoline se trouve également au-dessus du cylindre et sous la banquette.

L'admission se fait au moyen d'un petit tiroir plat et l'échappement par une soupape. L'allumage est produit par l'étincelle d'une bobine d'induction, dont le courant primaire est fourni par une petite dynamo, actionnée par le volant au moyen d'une cordelette.

L'arbre moteur est vertical : il porte le volant à sa partie inférieure ; à l'extrémité supérieure, il commande, par embrayage conique, l'arbre de distribution, qui est horizontal et tourne deux fois moins vite que lui. Celui-ci transmet en outre le mouvement, par courroie, à un autre petit arbre horizontal, placé à l'avant de la voiture ; c'est ce dernier qui entraîne les roues d'arrière par l'intermédiaire de roues dentées et de chaînes et qui porte l'appareil de changement de marche. On produit l'arrêt en faisant passer la courroie sur une poulie folle, et l'on règle la marche en faisant varier la composition du mélange à l'aide de robinets placés à la portée du conducteur.

Actuellement, M. Roger applique le moteur Benz à des voitures à quatre roues (fig. 128). Le moteur, dont la puissance varie avec le nombre des voyageurs à transporter, est alimenté par l'essence de pétrole, de densité 0,700 ; il est indépendant du reste du mécanisme, de sorte qu'on peut, lorsque la voiture est au repos, l'employer à d'autres usages : distribution d'eau, éclairage électrique, etc. Le carburateur renferme une quantité d'hydrocarbure suffisante pour 40 kilomètres ; un réservoir auxiliaire, installé sous le

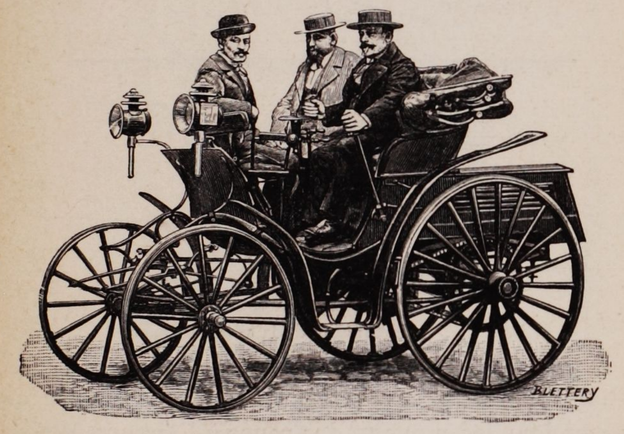


Fig. 128. — Voiture à pétrole Roger.

siège, contient une provision supplémentaire correspondant à 100 kilomètres.

Le moteur, placé sur le même cadre que la caisse de la voiture, est horizontal et fait normalement 300 tours par minute. Cette position, associée avec une vitesse relativement faible, supprime les trépidations que produisent ordinairement les moteurs verticaux.

L'allumage est produit par une étincelle électrique

éclatant à l'intérieur du cylindre, ce qui évite tout danger d'incendie.

L'arbre est muni d'un volant et porte deux poulies, à jantes plates et larges, de 20 à 30 cent. de diamètre; en regard se trouve un système de poulies fixes et folles, ayant 40 et 20 cent. de diamètre. L'arbre inter-

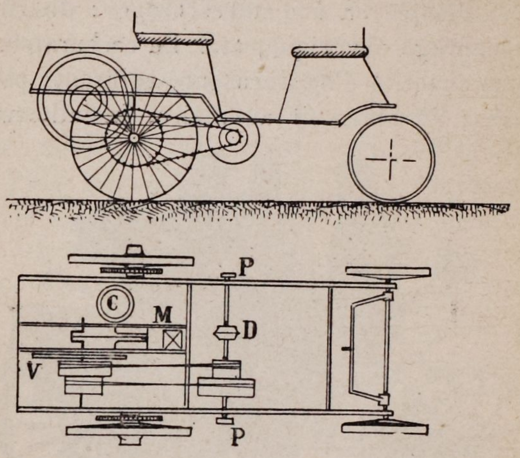


Fig. 129. — Mécanisme de la voiture Roger.

médiaire porte à ses extrémités deux pignons qui commandent les moyeux des roues à l'aide de chaînes de Gall. Les poulies reçoivent des courroies croisées. La vitesse se règle par deux leviers qui engagent plus ou moins les courroies sur les poulies fixes ; on peut aussi, au moyen d'un robinet placé sur le carburateur, appauvrir le mélange tonnant et ralentir la vitesse.

La figure 129 montre le mécanisme de cette voiture ; on voit à l'arrière le carburateur C et le moteur M ; V est le volant, D l'engrenage différentiel. L'arbre intermédiaire est actionné par des courroies, qui sont

croisées, afin d'augmenter l'arc d'enroulement ; il porte à ses deux extrémités les pignons P, qui entraînent

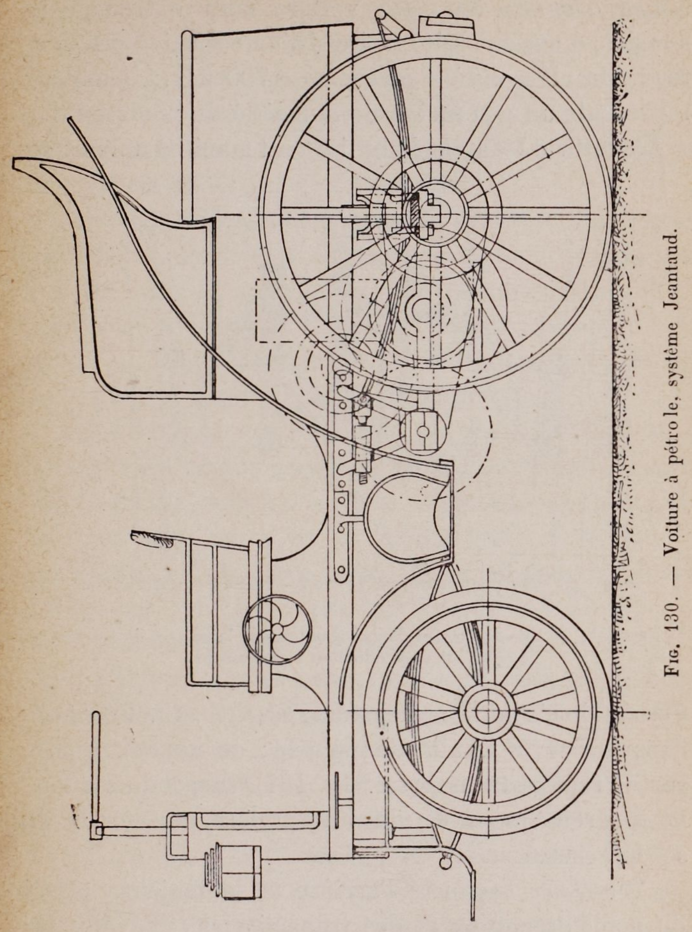


Fig. 130. — Voiture à pétrole, système Jeantaud.

les moyeux des roues au moyen de chaines de Gall. On voit que le mécanisme est simple, facile à entretenir et à conduire ; il y a peut-être cependant quelques

réserves à faire sur l'emploi des courroies, dont les axes sont très rapprochés.

Les organes de cette voiture sont extrêmement simples, d'une conduite facile et d'un entretien peu coûteux. Un vis-à-vis à 4 places pèse 700 kgr.; le moteur représente un peu moins de la moitié du poids total.

La voiture Jeanteaud (fig. 130) est munie d'un moteur

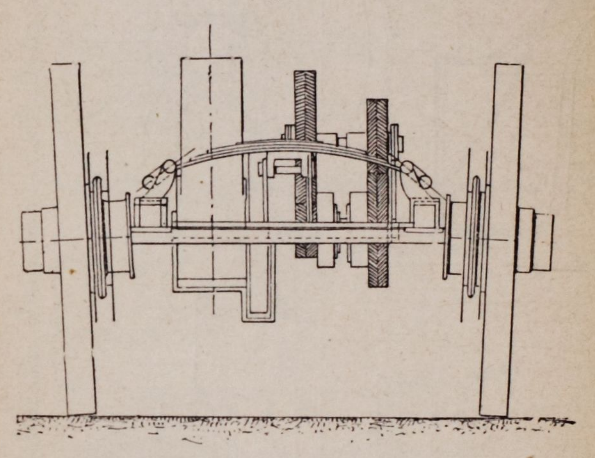


Fig. 131. — Vue de l'essieu de derrière portant le ressort de travers, auquel est suspendu tout le mécanisme.

Crouan, horizontal, marchant à l'essence et pouvant utiliser au besoin l'huile de pétrole ; ce moteur repose sur un ressort transversal (fig. 131), suspendu sur menottes renversées et placé à l'arrière, au-dessus du second essieu.

Ce ressort supporte l'arrière et la majeure partie du poids du moteur et des transmissions ; l'avant, qui est très léger, est soutenu par un arbre portant à ses extrémités deux pignons qui commandent les roues motrices au moyen de chaînes de Gall. Cet arbre, fixé

au cadre de la caisse, porte le mouvement différentiel, qui présente la disposition imaginée par M. Gaillardet. Il résulte de cette disposition que la faible charge restant à supporter à l'avant du moteur se trouve reportée sur les pignons et les roues coniques ; mais ici cela n'a pas d'importance, car la fatigue qui en résulte pour ces organes est négligeable par rapport aux efforts qu'ils ont à transmettre.

Les engrenages sont formés de disques métalliques serrés les uns contre les autres et séparés par des feuilles de cuir, ce qui les rend complètement silencieux. On modère la vitesse en appauvrissant le mélange en hydrocarbure. La direction s'obtient par un essieu brisé, inventé par M. Jeantaud.

Les allongements possibles des deux chaînes sont corrigés par un dispositif qui permet de reculer l'essieu d'arrière. La suspension de la caisse est complètement indépendante de celle du moteur, de sorte que la caisse est à l'abri des trépidations et peut s'enlever facilement pour permettre la visite du mécanisme.

Le moteur Daimler est employé dans les voitures de MM. Panhard et Levassor, ainsi que dans celles de la maison Peugeot. Ces voitures se construisent généralement à deux ou à quatre places.

Dans la voiture Panhard et Levassor (fig. 132), le moteur est de 3,33 chevaux pour 4 voyageurs et tourne constamment à la vitesse de 760 tours, quel que soit l'effort à exercer : lorsque la vitesse devient trop grande, les gaz brûlés ne sont plus expulsés complètement, ce qui appauvrit le mélange tonnant et diminue la consommation de gazoline.

Le moteur est placé à l'avant du véhicule et enfermé

dans un coffre à volets mobiles, de sorte qu'on peut accéder facilement à tous les organes principaux du mécanisme. Ce moteur entraîne un arbre intermédiaire au moyen d'un embrayage à friction, de sorte qu'on peut mettre le moteur en train sans que la voiture se mette en marche ; on fait ensuite démarrer doucement le véhicule en communiquant l'impulsion motrice aux engrenages, préalablement engrenés. L'arbre intermédiaire porte un manchon qui peut glisser sur lui, et

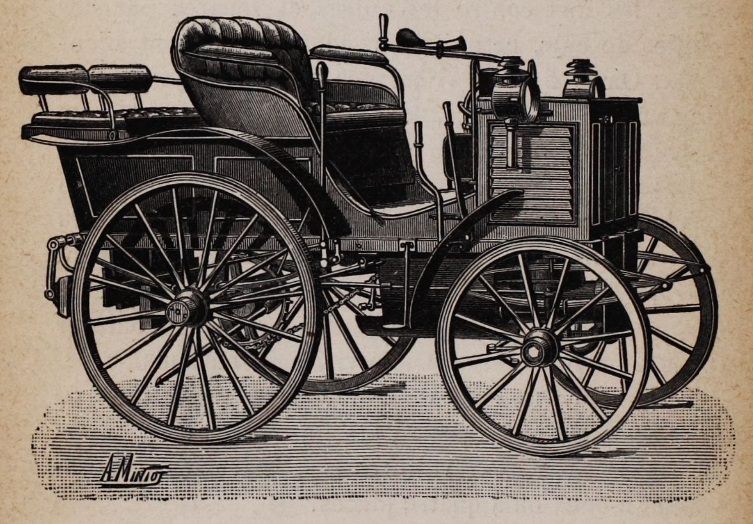


Fig. 132. — Voiture à pétrole à 4 places, forme phaéton.

qui est muni de trois roues dentées pouvant engrener avec trois autres roues, calées sur un arbre placé au-dessus du premier, dans le plan médian du véhicule. Ces trois roues correspondent à trois vitesses différentes.

Pour produire les changements de marche, l'arbre

supérieur porte à son extrémité une roue conique, qui engrène avec deux autres roues de même forme, folles sur un arbre transversal. Ces deux roues tournent donc en sens contraire l'une de l'autre. Au-dessus est un manchon dentelé, qui glisse à rainure sur un autre arbre transversal, portant également un pignon, qui actionne l'essieu d'arrière au moyen d'une chaîne de Gall. La voiture se meut en avant ou en arrière, suivant que le manchon est embrayé avec l'une ou l'autre des deux roues folles. L'essieu est tournant, comme dans les wagons de chemin de fer.

La direction se fait par un essieu brisé ; elle s'obtient par l'intermédiaire d'un levier, que le conducteur tient de la main gauche ; cette direction, en raison de la combinaison employée, est douce et ne donne lieu à aucune fatigue. La grande vitesse est réglée généralement à 18 kilomètres ; on peut cependant marcher plus vite. La petite vitesse est employée dans les montées et les mauvais passages. Sur une route sèche et en bon état, on peut gravir des pentes de 10 centimètres par mètre. La voiture possède deux freins : l'un se manœuvre avec une pédale, l'autre avec un levier ; ce dernier ne sert que pour les descentes rapides ou les arrêts instantanés. Un réservoir spécial contient une provision d'eau d'environ 35 litres, nécessaire pour refroidir les cylindres. Cette provision doit être renouvelée dans les longs parcours, par exemple tous les 50 kilomètres.

La consommation s'élève en moyenne à 0,04 fr. d'essence par kilomètre pour les voitures à 2 places et à 0,05 fr. pour les voitures à 4 places. Un réservoir placé à l'avant contient une provision d'essence pour environ 80 kilomètres ; on peut du reste placer à l'ar-

rière une provision supplémentaire, qui permet de faire 300 kilomètres.

Les roues sont généralement en bois avec cercles en fer; elles peuvent être garnies de bandages en caoutchouc, qui adoucissent beaucoup le roulement et préservent le mécanisme. Le poids de la voiture à 4 places est de 700 kilogrammes.

Dans la voiture Peugeot, le moteur est placé à l'arrière, ce qui reporte la charge sur les roues motrices; l'essieu est fixe et les roues sont attaquées par leur moyeu au moyen d'une chaîne de Gall. Cette voiture est caractérisée par l'emploi de tubes d'acier creux; les assemblages du cadre sont faits par brasure et les pièces du mécanisme y sont rattachées par des brides boulonnées. Aucun tube n'étant perforé, le bâti creux peut servir comme réservoir d'eau de réfrigération, ce qui allège l'appareil. Le poids de la voiture à 4 places est de 530 kilogr.

On sait que ces deux systèmes de voitures ont donné d'excellents résultats dans les récents concours de voitures automobiles.

Tricycles et bicyclettes. — Diverses tentatives ont été faites pour appliquer à la traction des cycles les moteurs de diverses espèces. Dès 1883, MM. Delamare-Deboutteville et Malandin avaient construit un tricycle qui fonctionnait au moyen de gaz, comprimé à 10 kgr. dans deux cylindres en cuivre; mais, ici encore, le moteur à pétrole paraît devoir l'emporter, parce que c'est lui qui transporte sa provision d'énergie sous la forme la plus maniable.

Le tricycle de MM. Jeanperrin frères est mû par un moteur à quatre temps, à deux cylindres, dont les

bielles attaquent la même manivelle. Les soupapes d'admission sont des clapets automatiques; les soupapes de décharge sont mues par des cames. Les tubes d'allumage sont chauffés par un petit réchaud à charbon de bois. Les cylindres sont refroidis par une enveloppe d'eau. L'essieu moteur est attaqué par deux chaînes. Un levier permet de faire passer la vitesse de 8 à 20 kilomètres. On construit aussi un quadricycle du même système, qui peut recevoir deux personnes, et dont la marche est, paraît-il, beaucoup plus sûre.

La bicyclette à pétrole de MM. Wolfmüller et Geisenhof a la forme d'une bicyclette de dame, mais elle est plus grande. Le cycliste a les pieds sur deux supports et l'appareil est assez bas pour qu'il puisse facilement les poser par terre. La roue d'avant est directrice et ne diffère pas de celle d'une machine ordinaire; la roue d'arrière est pleine, afin d'avoir plus de résistance.

Le moteur est placé à la partie inférieure du cadre; sur la partie antérieure est placé l'évaporateur et, au-dessus de lui, le réservoir de gazoline. L'hydrocarbure tombe goutte à goutte dans l'évaporateur, où il traverse une série de tamis de gaze, qui augmentent la surface d'évaporation. L'air pénètre dans cet appareil à travers une sorte de filtre, qui arrête les poussières. Le moteur actionne l'axe de la roue d'arrière par l'intermédiaire d'une bielle et d'une petite manivelle. Le poids de l'appareil ne dépasse pas 50 kilogrammes. La vitesse se règle aisément, de 5 à 40 kilomètres, en tournant une pièce filetée, placée sous la main droite et qui ouvre ou ferme graduellement le robinet de chute de la gazoline,

la soupape d'admission du gaz dans la chambre d'inflammation et la valve d'admission de l'eau de refroidissement. En déclenchant brusquement un ressort placé autour de la pièce de réglage, on ferme toutes les communications et l'on arrête la machine instantanément.

La stabilité de la machine est très grande, les organes les plus lourds se trouvant à la partie inférieure. Les tubes creux du cadre servent à la circulation de l'eau de refroidissement et de l'huile de graissage.

Bateaux. — On construit aujourd'hui des machines à vapeur qui conviennent très bien à la navigation, car elles donnent, sans être d'un prix trop élevé, une grande puissance sous un petit volume et un faible poids. Cependant ces machines comportent toujours certains inconvénients : nécessité d'un homme spécial; obligation d'entretenir le feu un certain temps avant le départ, ainsi que pendant les arrêts ; surcharge produite par le combustible et par l'homme ; diminution de l'espace réservé aux passagers ; défaut de propreté résultant du charbon, des cendres et de la fumée.

Tous ces inconvénients disparaissent avec les moteurs à gaz tonnants. Les moteurs à gaz ont été essayés récemment par M. Capelle pour la navigation sur la basse Seine, où la Société « La Seine maritime », du Havre, s'est proposé d'installer un service rapide de transports au moyen de chalands munis de moteurs à gaz de ville comprimé.

Le premier de ces chalands qui ait été mis en service, l'*Idée*, est muni d'un moteur du type « Simplex », modifié pour cette nouvelle application. Ce moteur est vertical, à deux cylindres, et actionne directement

l'arbre de couche de l'hélice à l'aide de deux vilebrequins calés à 180° ; par cette disposition, les pièces en mouvement se trouvent équilibrées sans qu'il soit nécessaire d'employer des contrepoids auxiliaires. L'une des extrémités de l'arbre porte un volant pour la mise en marche, l'autre un joint d'embrayage flexible, qui permet de rendre l'hélice indépendante du moteur. Un arbre secondaire, parallèle à l'arbre de couche, porte les cames d'échappement et les autres organes de distribution. Deux pompes provoquent une circulation d'eau pour le refroidissement du moteur ; l'une d'elles sert aussi à vider la cale.

Le gaz est renfermé dans des tubes en acier de 8 millimètres d'épaisseur, où il est comprimé à 100 atmosphères ; ces tubes ont 5 m. de longueur et sont forgés d'une seule pièce ; ils contiennent chacun 22 m. c. et pèsent 325 kgr. Ces tubes sont placés sur le pont du chaland, afin de ne pas encombrer la cale et d'éviter les accidents en cas de fuite. Un seul homme suffit pour la manœuvre des machines.

Une usine à gaz, située à mi-chemin entre Paris et le Havre, doit servir à approvisionner les chalands ; elle renferme donc, outre les appareils pour la fabrication du gaz, un certain nombre de compresseurs.

Une minute suffit pour la mise en marche. Avec un chargement de 145 tonneaux, l'*Idée* peut marcher à la vitesse de 10 à 11 kilomètres à l'heure.

En dehors de cette tentative intéressante, c'est le pétrole qui paraît jusqu'ici l'emporter dans les applications de ce genre ; qu'il soit employé sous la forme d'huile lampante ou de gazoline, il n'exige pas de réservoirs aussi résistants et renferme, à égalité de

volume, une provision d'énergie plus grande que le gaz comprimé.

Parmi les moteurs à pétrole destinés à la navigation, deux sont horizontaux, ceux de Lenoir et de Benz. Ils comprennent deux cylindres superposés et conjugués, afin d'avoir une impulsion par tour. Dans le moteur Lenoir, le carburateur est identique à celui que nous avons décrit plus haut. L'arbre moteur est vertical et porte à sa partie inférieure un volant horizontal, qui assure la stabilité et s'oppose au roulement. La vitesse est réglée par des barres de relevage actionnant les soupapes d'admission, et l'on peut faire fonctionner les cylindres ensemble ou séparément. Les changements de marche s'obtiennent au moyen d'un levier placé à l'arrière du moteur et qui donne, suivant ses trois positions, la marche en avant, la marche en arrière et la marche au repos ou à vide, c'est-à-dire sans actionner l'hélice. La consommation est d'environ 400 gr. d'essence, de densité 0,650, par cheval-heure.

L'allumage est électrique : le courant est fourni par deux piles placées dans une caisse servant de banc au conducteur ; le moteur actionne une pompe, qui produit une circulation d'eau pour refroidir les cylindres.

Dans le moteur Benz, l'arbre moteur est encore vertical ; l'allumage se fait aussi par piles. Le carburateur est vertical. La mise en marche s'obtient en désembrayant et faisant tourner l'arbre moteur au moyen d'une manivelle placée à son extrémité.

Les autres moteurs à pétrole pour bateaux sont verticaux et du type pilon ; généralement ils ont aussi deux cylindres conjugués, pour la même raison que

plus haut. Les moteurs verticaux sont plus simples, moins lourds et moins encombrants, plus faciles à surveiller et à commander, mais ils donnent moins de stabilité à l'embarcation.

Le moteur Priestman (fig. 133) est à deux cylindres ; il marche à l'huile de pétrole. Il a une puissance nominale de 5 chevaux, mais peut développer beaucoup

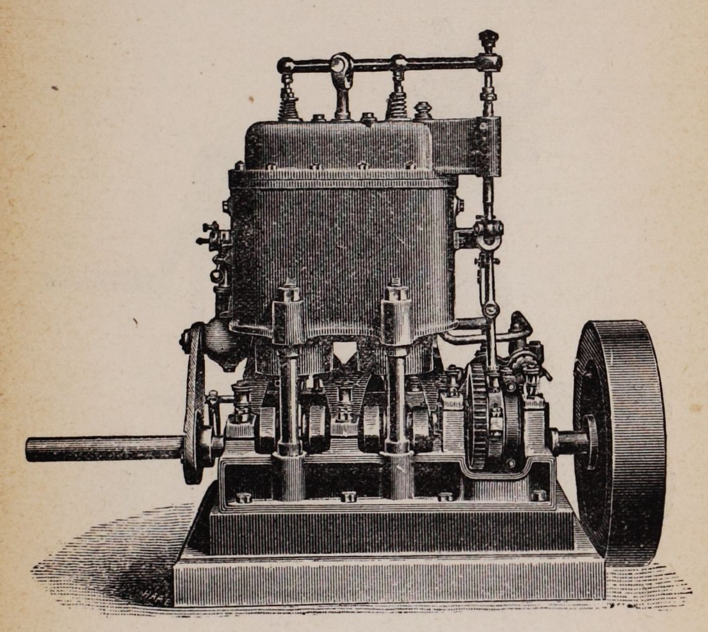


Fig. 133. — Moteur Priestman, genre pilon, pour bateaux.

plus. Il fait 250 tours par minute. Le changement de marche est donné par un embrayage spécial. Avec ce moteur, une embarcation de 8,50 m. de longueur sur 1,90 m. de largeur fait 10 kilomètres à l'heure.

Le moteur Grob a été aussi disposé pour la naviga-

tion ; de 2 à 8 chevaux, il se fait à un seul cylindre (fig. 134), et pour dix chevaux avec deux cylindres.

Le moteur est installé au milieu du bateau ; la personne qui tient la barre a, à la portée de sa main, un levier de manœuvre pour la marche en arrière. Une flotille de bateaux, munis de moteurs Grob, fait depuis plusieurs années le service du port de Hambourg.

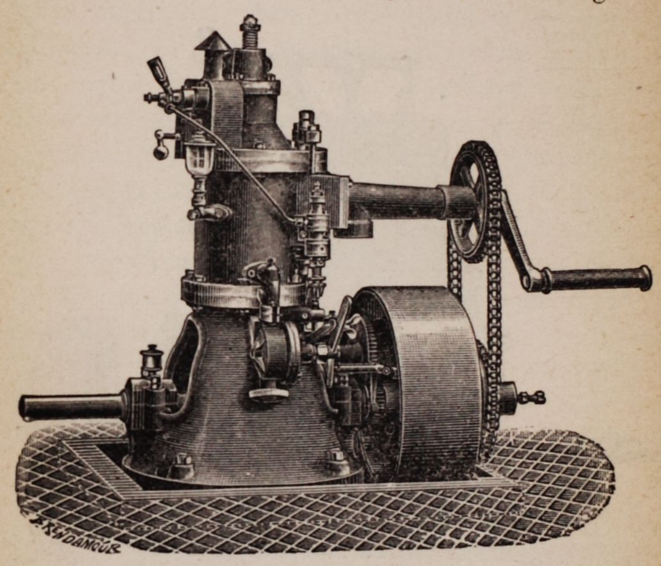


Fig. 134. — Moteur Grob pour bateaux.

MM. Panhard et Levassor ont adapté aux bateaux le moteur Daimler, qui convient très bien à cette application par sa légèreté, sa simplicité, la position très basse de son centre de gravité, son faible volume et sa grande vitesse, qui lui permet d'actionner directement l'hélice. Un mécanisme breveté, très simple, réalise l'accouplement et permet l'arrêt instantané et la

marche en arrière. Le moteur se place généralement à l'arrière, près du gouvernail, de sorte qu'il laisse libre tout le reste de l'embarcation. La personne qui tient le gouvernail manœuvre aussi le levier pour la mise en marche, le renversement et l'arrêt. La puissance varie de 1 à 10 chevaux.

APPENDICE

Nous avons réuni dans cet appendice quelques appareils sur lesquels les renseignements nous sont parvenus trop tard pour être utilisés dans le cours du volume.

Gazogène Buire-Lencauchez.

Ce gazogène a été imaginé par M. Lencauchez, en collaboration avec les ingénieurs des chantiers de la Buire, à Lyon : il ne possède pas de chaudière à vapeur, mais cette simplification est en partie compensée par la nécessité d'un ventilateur spécial.

Le gazogène proprement dit A (fig. 135) se compose d'un cylindre de tôle garni de briques réfractaires K, entourées d'une couche de sable L, qui empêche la déperdition de la chaleur. Le charbon, introduit par la trémie MN, vient s'appuyer sur la série de grilles C; des barreaux obliques DDE l'empêchent de tomber dans le cendrier G et laissent filtrer l'air au travers du combustible incandescent.

Un robinet W envoie dans le barreau creux E un mince filet d'eau, qui s'y échauffe et retombe en gouttelettes dans le cendrier. Là, le liquide se vaporise sous

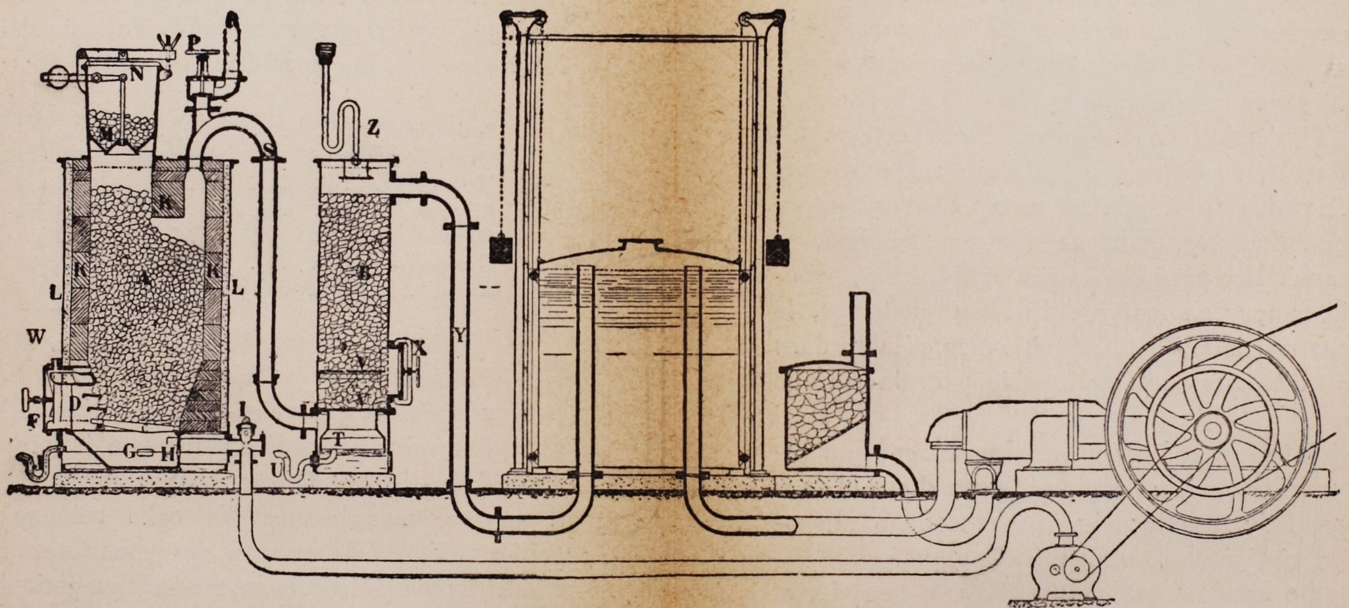
l'influence du rayonnement du foyer et des grilles, et la vapeur traverse le charbon porté au rouge ; le reste de l'eau s'écoule au dehors par J ; un faible excès est nécessaire pour qu'on soit assuré que l'appareil reçoit une quantité suffisante de liquide.

Un ventilateur, mû par la machine, envoie sous le foyer un courant d'air, qui pénètre en H et entraîne la vapeur d'eau. Le gaz produit offre, en moyenne, d'après les inventeurs, la composition suivante :

Hydrogène	20	45 0/0
Oxyde de carbone	21	
Méthane	3,50	
Ethylène	0,50	
Oxygène	0,50	55 0/0
Gaz carbonique	5	
Azote	49,50	
	100	

Ce gaz sort du gazogène par S et arrive au laveur B, où il doit vaincre la faible résistance du joint hydraulique T, destiné à empêcher tout retour en arrière. Là, il traverse une colonne de coke retenue par les grilles VV, se débarrasse des poussières et se refroidit au contact de l'eau tombant en pluie du disque dentelé qui termine le siphon Z ; ainsi lavé et refroidi, il se rend au gazomètre par le tuyau Y, pendant que l'eau s'écoule en dehors en U. La porte X permet de changer le coke, tous les deux ou trois mois, lorsqu'il est saturé de poussières.

La charge du gazogène se fait en pleine marche, toutes les quatre ou six heures, suivant les dimensions de l'appareil. Pour cela, on soulève le couvercle N,



Fig, 135. — Gazogène Buire-Lencauchez. (Vue en coupe du gazogène et des appareils accessoires).

on remplit la trémie de charbon, on referme N et l'on fait basculer le cône M, au moyen de contrepoids, pour introduire la charge dans le foyer. Toutes les vingt-quatre heures, on ouvre la porte F pour retirer la cendre et piquer le feu entre les barreaux DD.

Lorsque le gazomètre est rempli, un mécanisme ferme en partie le conduit d'admission d'air.

Le gazogème doit être arrêté en même temps que le moteur auquel il est associé. Pour cela, on ouvre légèrement la vanne P, ainsi que le clapet d'échappement de l'air. Il s'établit dans le gazogène, pendant les heures d'arrêt, un léger courant d'air, suffisant pour empêcher le feu de s'éteindre, même pendant un ou deux jours. En outre, on laisse le gazomètre plein, de façon à avoir une pression de gaz suffisante pour remettre le moteur en marche. Pendant ce temps, le ventilateur, recommençant à fonctionner, rétablit dans le foyer la température convenable pour la marche normale.

On adjoint souvent à cet appareil un réchauffeur tubulaire, traversé dans un sens par le gaz chaud et dans l'autre par l'air insufflé ; c'est une excellente disposition, qui réalise un chauffage méthodique.

Une petite rampe à gaz, placée dans le cendrier et alimentée par le gazomètre, peut être utilisée au moment de la mise en train ou lorsqu'on veut ranimer le feu.

Enfin le gazogène Lencauchez peut être alimenté avec des charbons maigres de Vicoigne-Nœux, d'Anzin, de Graissessac ou d'autres provenances, et n'exige nullement l'emploi de l'anthracite anglais, beaucoup plus coûteux.

Moteur à gaz Simplex.

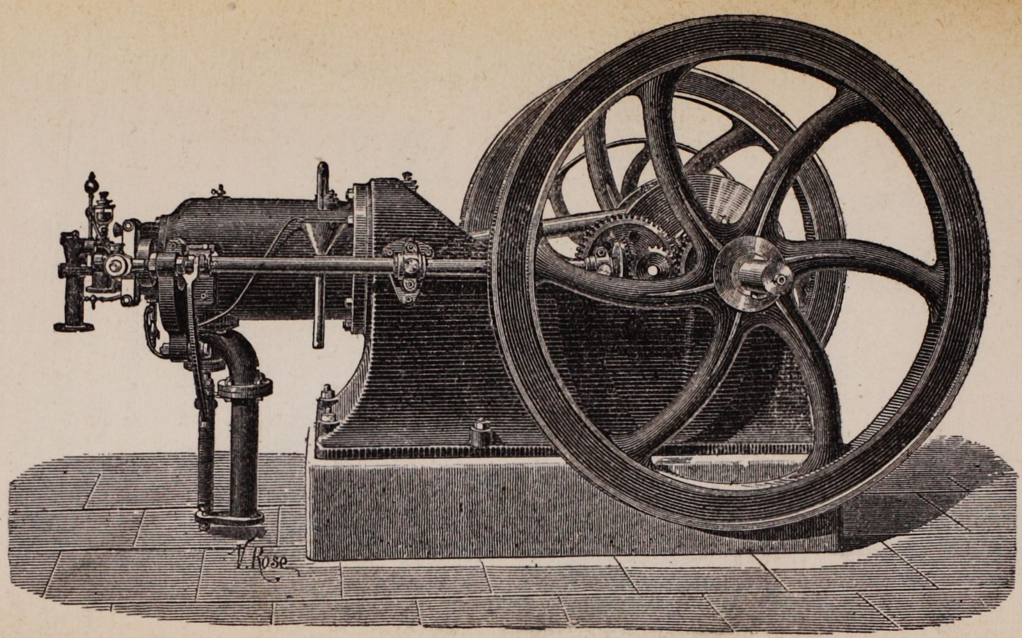


Fig. 136. — Moteur Simplex : élévation.

Ce moteur, imaginé par MM. Delamare-Deboutteville et Malandin, et construit par M. Matter, de Rouen

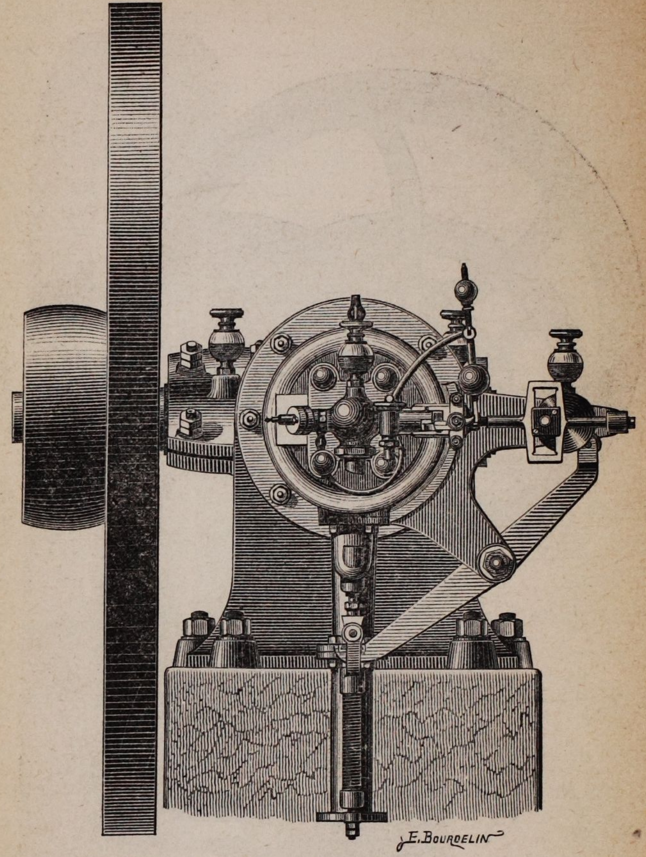


FIG. 137. — Moteur Simplex : vue de bout.

est un moteur à quatre temps : il se distingue par d'ingénieuses dispositions, qui lui assurent une grande simplicité ; il est très économique et possède une marche très régulière.

Distribution. — L'aspect extérieur (fig. 136 et 137) est celui que présentent ordinairement les moteurs de ce

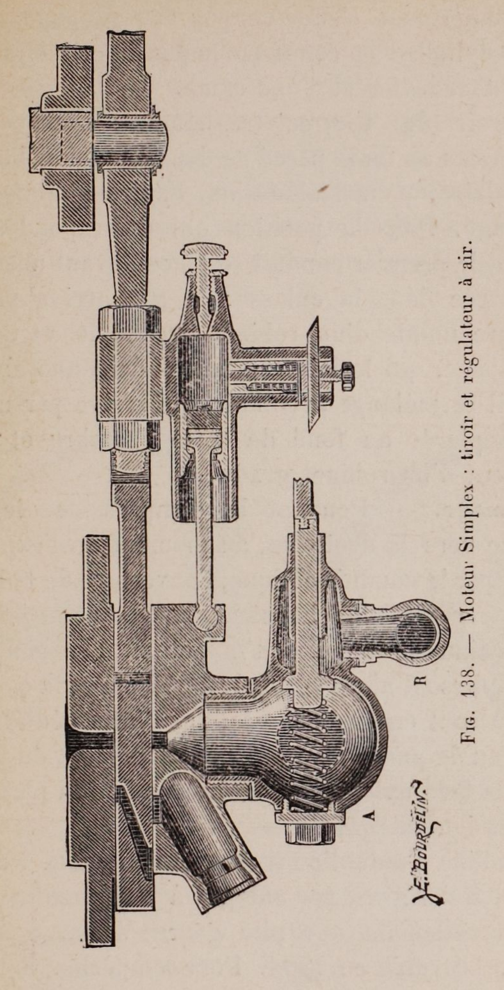


Fig. 138. — Moteur Simplex : tiroir et régulateur à air.

type. La distribution se fait par un tiroir, qui reçoit le mouvement de l'arbre de couche par l'intermédiaire

d'un arbre secondaire, parallèle à l'axe du cylindre, d'un plateau-manivelle et d'un coulisseau.

L'échappement s'effectue par une soupape, placée sous le cylindre et commandée par le même arbre au moyen d'un levier et d'une came.

Le tiroir (fig. 138) est très simple : il se compose d'un plateau en fonte percé de deux conduits, l'un perpendiculaire, pour l'admission, l'autre oblique, pour l'allumage. Dans la position qui correspond à l'admission, le premier conduit se place devant une ouverture percée dans la culasse; le gaz arrive par une ouverture munie d'un robinet gradué R, et traverse une soupape, qui le laisse pénétrer dans une chambre A, où il se mélange avec l'air, qui arrive par une ouverture placée au fond de cette chambre et munie également d'un robinet gradué.

Allumage. — Pendant la compression, le tiroir s'avance vers la droite et, au moment de l'explosion, il relie, par le conduit oblique, l'ouverture de la culasse avec une cavité du chapeau, dans laquelle jaillit un flux continu d'étincelles d'induction. Les gaz brûlés qui remplissent alors le conduit oblique et la cavité du chapeau sont ensuite chassés, par l'intermédiaire d'un petit trou de purge disposé sur le logement du brûleur et sur la face externe du tiroir, pendant la période de compression suivante.

La bobine d'induction servant à l'allumage était alimentée, à l'origine, par une pile à bichromate ; on emploie actuellement une pile genre Volta, à un seul liquide, brevetée en 1894. Pour empêcher la polarisation, l'électrode positive porte de longues fentes verticales ou obliques, ouvertes par le haut, qui per-

mettent le dégagement des gaz; des rainures pratiquées dans le vase maintiennent le parallélisme des deux électrodes.

Régulateur. — La figure 138 montre aussi un régulateur à air, formé d'une pompe dont le piston est fixe, tandis que le cylindre se meut avec le tiroir. L'air comprimé derrière le piston soulève une soupape à ressort, qui relève plus ou moins un couteau d'acier, agissant sur le robinet d'admission du gaz combustible.

On emploie de préférence aujourd'hui le régulateur

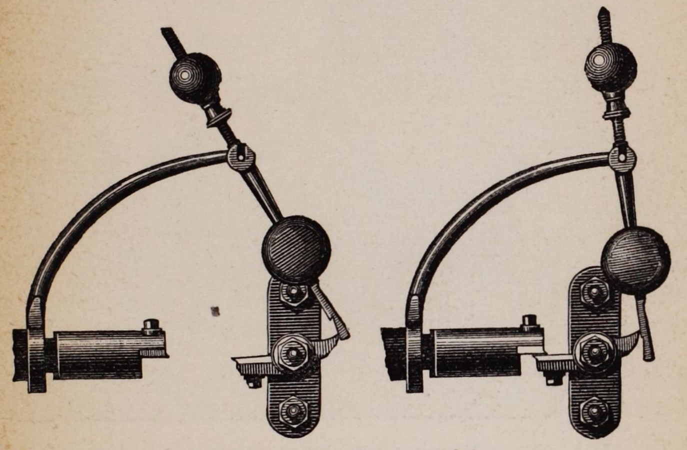


Fig. 139. — Régulateur-pendule.

(fig. 139); c'est un pendule double, que la pesanteur tend toujours à ramener dans la verticale et qui porte un cran à sa partie inférieure. D'un autre côté, le tiroir mobile porte un double couteau, destiné à attaquer la soupape d'admission du gaz : en marche normale, le cran du pendule appuie sur la queue de ce double couteau, le maintient horizontal et assure l'ouverture du robinet à gaz. Mais, si la vitesse de la ma-

chine s'accélère, le cran manque le couteau, comme on le voit sur la seconde partie du dessin, et le robinet ne s'ouvre pas.

Compression ; mise en marche. — L'ingénieuse disposition de ce moteur permet d'employer une forte compression. Un petit appareil très simple évite l'em-

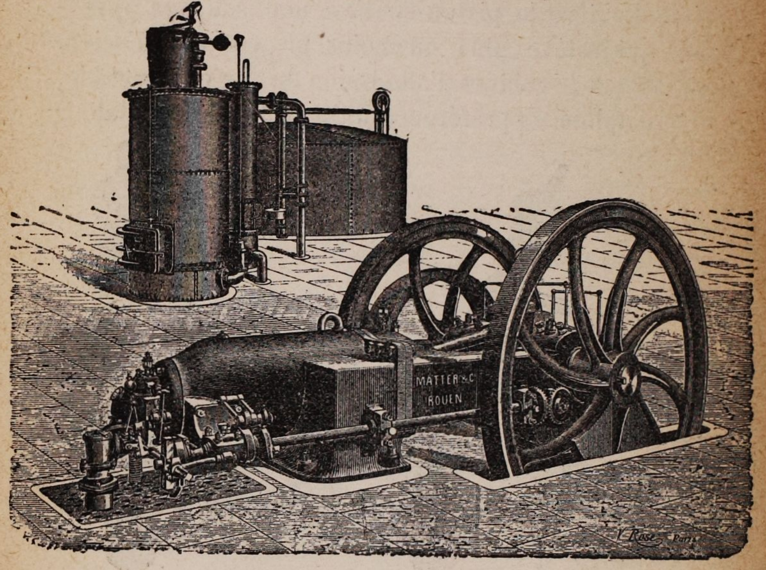


Fig. 140. — Moteur Simplex associé avec un gazogène Buire-Lencauchez.

ploi d'un self-starting. Un robinet, disposé sur le logement de l'inflammateur, permet d'introduire, par le conduit oblique, une première charge de mélange tonnant. On provoque une étincelle, et l'explosion fait démarrer le piston.

Applications. — Le moteur Simplex justifie bien son nom : il est simple et par conséquent robuste ; malgré la grande compression, la marche est bien silencieuse.

C'est le premier moteur qui ait été construit pour de grandes puissances : un moteur monocylindrique de cent chevaux figurait déjà à l'Exposition de 1889. Depuis cette époque, cette limite a été largement dépassée. Les moulins de Pantin possèdent un moteur monocylindrique, alimenté au gaz pauvre, qui donne deux cent vingt chevaux au frein.

Le moteur Simplex est souvent associé avec le gazogène Buire-Lencauchez. La fig. 140 montre une installation de ce genre, relative à un moteur de grande puissance : le gaz est amené à la machine par une canalisation souterraine.

Le moteur Simplex peut s'appliquer également à la conduite des dynamos : ainsi il est employé pour l'éclairage électrique à la station centrale d'Etrépagny (Eure), au grand hôtel « Riviera Palace » à Nice, pour une transmission de force à la fabrique d'engrais de M. Linet, à Aubervilliers. C'est encore un moteur Simplex modifié qui actionne le chaland l'*Idée,* dont nous avons parlé plus haut.

Moteur à pétrole Merlin.

Ce moteur (fig. 141), employé sur la locomobile décrite plus haut, est vertical, fonctionne à quatre temps et présente une certaine analogie avec le moteur Grob.

Le socle forme un récipient hermétiquement clos, qui communique avec une pompe à air et une petite pompe à huile. L'air débité par la première pompe fait remonter le pétrole jusqu'à la seconde, qui l'envoie au vaporisateur à travers un appareil de pulvérisation.

Ce vaporisateur est chauffé par une lampe à pétrole spéciale.

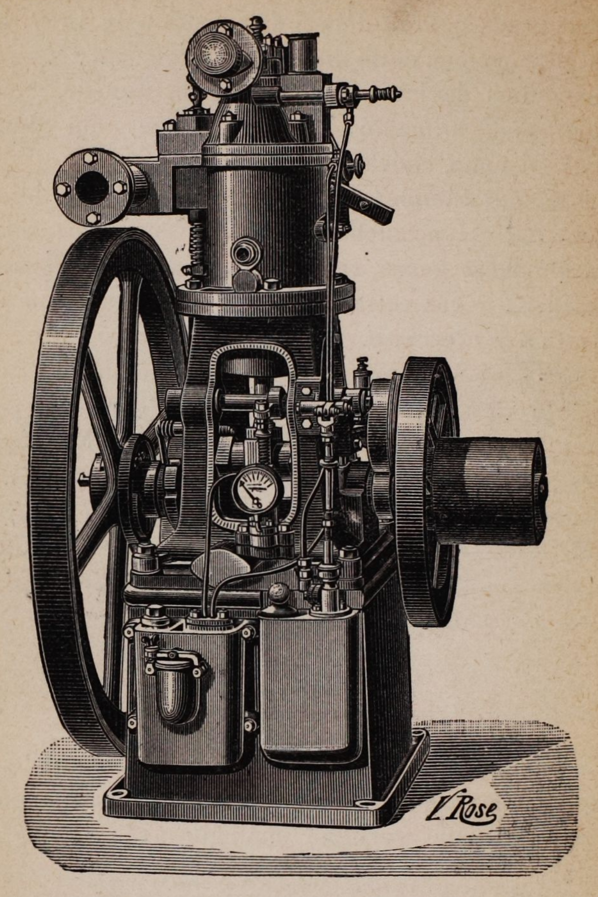


Fig. 141. — Moteur à pétrole Merlin.

L'inflammation se produit au contact des parois, fortement chauffées, du vaporisateur.

Le régulateur agit sur la soupape d'échappement

pour empêcher la compression et règle en outre le débit de la pompe à pétrole, qu'il peut même arrêter complètement. Le débit est ainsi rendu proportionnel à la puissance développée.

Pour la mise en marche, on chauffe le vaporisateur avec une petite lampe pendant cinq minutes, puis on donne quelques coups à la pompe à air et l'on pousse au volant.

Malgré sa marche très rapide, ce moteur est parfaitement stable ; il est d'un prix peu élevé, et sa consommation n'est pas exagérée, de sorte qu'il convient parfaitement aux applications agricoles. Il se construit depuis un demi-cheval jusqu'à dix chevaux.



FIN.

TABLE DES MATIÈRES

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES

CHARTRES. — IMPRIMERIE DURAND, RUE FULBERT

